

Docket No. 202686US2TTC/jmh

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Katsumi KANEHIRA, et al.

GAU:

SERIAL NO: 09/774,621

EXAMINER:

FILED: February 1, 2001

FOR: DETERIORATION DIAGNOSTIC METHOD AND EQUIPMENT THEREOF

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS  
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number [US App No], filed [US App Dt], is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

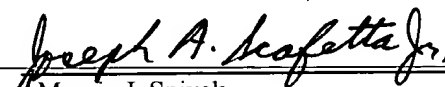
<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	2000-024321	February 1, 2000

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and  
(B) Application Serial No.(s)
- ☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

  
Marvin J. Spivak  
Registration No. 24,618

Joseph A. Scafetta, Jr.  
Registration No. 26,803



22850

Tel. (703) 413-3000  
Fax. (703) 413-2220  
(OSMMN-10/98)

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

---

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

---

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

---



26613/672 USA7  
09/774,621

日本国特許庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日

Date of Application:

2000年 2月 1日

出願番号

Application Number:

特願2000-024321

出願人

Applicant (s):

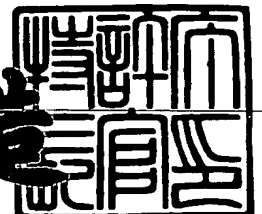
株式会社東芝

2000年12月22日

特許庁長官

Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3108092

【書類名】 特許願

【整理番号】 21A99Y003

【提出日】 平成12年 2月 1日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01R 31/00  
G01R 31/26  
H01L 21/66

【発明の名称】 劣化診断方法およびその装置

【請求項の数】 36

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都府中市東芝町1番地 株式会社東芝 府中工場内

    【氏名】 兼平 勝己

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都府中市東芝町1番地 株式会社東芝 府中工場内

    【氏名】 藤堂 洋子

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都府中市東芝町1番地 株式会社東芝 府中工場内

    【氏名】 佐々木 恵一

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都府中市東芝町1番地 株式会社東芝 府中工場内

    【氏名】 澤田 彰

---

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都府中市東芝町1番地 株式会社東芝 府中工場内

    【氏名】 安達 健二

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 株式会社東芝 京浜事業所内

    【氏名】 木村 和成

【特許出願人】

【識別番号】 000003078

【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

【識別番号】 100083806

【弁理士】

【氏名又は名称】 三好 秀和

【電話番号】 03-3504-3075

【選任した代理人】

【識別番号】 100068342

【弁理士】

【氏名又は名称】 三好 保男

【選任した代理人】

【識別番号】 100100712

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩▲崎▼ 幸邦

【選任した代理人】

【識別番号】 100100929

【弁理士】

【氏名又は名称】 川又 澄雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100108707

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 友之

【選任した代理人】

【識別番号】 100095500

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 正和

【選任した代理人】

【識別番号】 100101247

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 俊一

【選任した代理人】

【識別番号】 100098327

【弁理士】

【氏名又は名称】 高松 俊雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001982

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 劣化診断方法およびその装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 金属材料の大気中での暴露日数に対する腐食減量を大気環境の有害性の程度を表す環境評価点の関数として定式化し、この関数から求めた腐食減量を基に前記金属材料の寿命を診断することを特徴とする劣化診断方法。

【請求項 2】 大気環境における金属材料の腐食速度を当該大気環境の有害性の程度を表す環境評価点の関数として定式化し、この関数から求めた腐食速度を基に前記金属材料の寿命を診断することを特徴とする劣化診断方法。

【請求項 3】 前記環境評価点は、大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複数の環境因子の各々の量を、その量によって割り付けた各因子別評価点と各因子別重み係数の積の和とすることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の劣化診断方法。

【請求項 4】 前記大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複数の環境因子の各々の因子別評価点は、当該各環境因子の量の範囲によってクラス分けして割り付けるか又は当該各環境因子の量の中央値の関数の何れかとすることを特徴とする請求項 3 記載の劣化診断方法。

【請求項 5】 前記環境因子における腐食性ガスの量の測定方法は、前記大気環境に一定期間暴露したろ紙のガス吸着量として求めるろ紙法とし、前記腐食性ガスのうちの酸性ガスの測定は、セルロースろ紙に所定%の炭酸カリウム水溶液又は炭酸ナトリウム水溶液の何れかを含浸したアルカリろ紙により、また前記腐食性ガスのうちのアルカリ性ガスの測定は、ガラスろ紙に所定%リン酸水溶液を含浸した酸性ろ紙により測定を行うことを特徴とする請求項 3 又は 4 記載の劣化診断方法。

【請求項 6】 前記各環境因子の量の範囲による因子別評価点のクラス分けは、少なくとも 5 段階とすることを特徴とする請求項 4 記載の劣化診断方法。

【請求項 7】 前記環境因子における相対湿度の因子別評価点は、雨、雪に直接晒される大気環境においては、各クラスの評価点に一定数の補正点を加えたものとすることを特徴とする請求項 6 記載の劣化診断方法。

【請求項 8】 前記環境因子における海塩粒子の因子別評価点を、前記海岸からの距離によってクラス分けして割り付けたものとすることを特徴とする請求項 6 記載の劣化診断方法。

【請求項 9】 前記環境評価点は、特定の金属材料を大気環境中に所定期間に渡って暴露し、当該所定期間の暴露日数での前記特定の金属材料の腐食減量を測定し、この腐食減量と暴露日数を環境評価点との関係に当てはめることによって算出し、この算出した環境評価点を用いて他の金属材料の大気環境における寿命を診断することを特徴とする請求項 1 記載の劣化診断方法。

【請求項 10】 前記特定の金属材料は銅であることを特徴とする請求項 9 記載の劣化診断方法。

【請求項 11】 大気環境における金属材料の腐食減量を、当該金属材料の当該大気環境に暴露された日数の平方根の 1 次式で表し、当該 1 次式中の係数を請求項 3 記載の前記環境評価点の多項式で表すことを特徴とする請求項 1 記載の劣化診断方法。

【請求項 12】 大気環境における金属材料の腐食速度を、当該金属材料の当該大気環境に暴露された日数の平方根の 1 次式で表し、当該 1 次式中の係数を請求項 3 記載の前記環境評価点の多項式で表すことを特徴とする請求項 2 記載の劣化診断方法。

【請求項 13】 金属材料が使用される大気環境について、当該大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複数の環境因子を所定期間に渡って測定し、この各測定値を用いて請求項 4 記載の方法により前記各因子別評価点を決定し、この決定した各因子別評価点を用いて請求項 3 記載の方法により前記環境評価点を決定し、この決定した環境評価点を用いて当該金属材料の腐食減量と暴露日数との関係を決定することを特徴とする請求項 1 又は 11 記載の劣化診断方法。

【請求項 14】 金属材料が使用される大気環境について、請求項 9 記載の方法により前記環境評価点を算出し、この算出した環境評価点を用いて当該金属材料の腐食減量と暴露日数との関係を決定することを特徴とする請求項 1 又は 11 記載の劣化診断方法。

【請求項 1 5】 金属材料が使用される大気環境について、当該大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複数の環境因子を所定期間に渡って測定し、この各測定値を用いて請求項 4 記載の方法により前記各因子別評価点を決定し、この決定した各因子別評価点を用いて請求項 3 記載の方法により前記環境評価点を決定し、この決定した環境評価点を用いて当該金属材料の腐食速度を決定することを特徴とする請求項 2 又は 1 2 記載の劣化診断方法。

【請求項 1 6】 金属材料が使用される大気環境について、請求項 9 記載の方法により前記環境評価点を算出し、この算出した環境評価点を用いて当該金属材料の腐食速度を決定することを特徴とする請求項 2 又は 1 2 記載の劣化診断方法。

【請求項 1 7】 金属材料を大気環境中に所定期間に渡って暴露し、当該所定期間の暴露日数での当該金属材料の腐食減量を測定し、この測定結果を用いて請求項 1 3 又は 1 4 記載の方法によって算出した金属材料の腐食減量と暴露日数の関係を補正することを特徴とする劣化診断方法。

【請求項 1 8】 金属材料を大気環境中に所定期間に渡って暴露し、当該所定期間の暴露日数での当該金属の腐食減量を測定し、この測定結果を用いて請求項 1 5 又は 1 6 記載の方法によって算出した金属材料の腐食速度を補正することを特徴とする劣化診断方法。

【請求項 1 9】 環境因子量測定手段で測定された各環境因子の量の測定値を入力する入力手段と、各環境因子の量と各因子別評価点の関係を与える関数を内蔵する第 1 のデータベースと、各種金属材料に対して環境評価点と各因子別評価点の関係を与える関数を内蔵する第 2 のデータベースと、前記第 1 のデータベースから読み取った前記関数及び前記入力手段から入力した各環境因子の量を用いて各因子別評価点を演算する因子別評価点演算手段と、前記第 2 のデータベースから読み取った前記関数及び前記因子別評価点演算手段で演算された各因子別評価点を用いて大気環境の有害性の程度を表す環境評価点を演算する環境評価点演算手段と、この環境評価点演算手段で演算された環境評価点を変数として定式化した関数により大気環境における金属材料の腐食減量と暴露日数との関係を演

算する腐食減量演算手段と、前記環境評価点演算手段で演算された環境評価点を変数として定式化した関数により大気環境における金属材料の腐食速度を演算する腐食速度演算手段と、金属材料の所定期間の暴露日数での腐食減量に基づいて前記腐食減量演算手段で演算した腐食減量と暴露日数の関係を補正演算する腐食減量補正演算手段と、金属材料の所定期間の暴露日数での腐食減量に基づいて前記腐食速度演算手段で演算した腐食速度を補正演算する腐食速度補正演算手段と、前記腐食減量補正演算手段で補正された腐食減量と暴露日数の関係又は前記腐食速度補正演算手段で補正された腐食速度を基に金属材料の余寿命を算出する余寿命算出手段と、この余寿命算出手段で算出された金属材料別の余寿命を診断結果として出力する出力手段とを有することを特徴とする劣化診断装置。

【請求項 20】 電子回路を構成する金属材料について、請求項 13 又は 14 記載の方法により演算される腐食減量、請求項 17 記載の方法より補正演算される腐食減量、請求項 15 又は 16 記載の方法により算出される腐食速度、又は請求項 18 記載の方法により補正演算される腐食速度を、前記電子回路を構成する金属材料に対して予め用意してある腐食減量又は腐食速度と当該金属材料からなる電子回路部品の腐食劣化指標との関係に当てはめて当該電子回路部品の腐食劣化指標に換算し、この腐食劣化指標により前記電子回路部品の腐食劣化状態を判定することを特徴とする劣化診断方法。

【請求項 21】 前記電子回路を構成する金属材料が銅、前記電子回路部品が銅パターン配線である場合において、前記腐食劣化指標は前記銅パターン配線の腐食厚さであることを特徴とする請求項 20 記載の劣化診断方法。

【請求項 22】 前記電子回路を構成する金属材料がアルミニウム、前記電子回路部品が集積回路である場合において、前記腐食劣化指標は前記集積回路のアルミニウム配線の腐食面積率であることを特徴とする請求項 20 記載の劣化診断方法。

【請求項 23】 前記電子回路を構成する金属材料が銀、前記電子回路部品が銀接点である場合において、前記腐食劣化指標は前記銀接点の接触抵抗値であることを特徴とする請求項 20 記載の劣化診断方法。

【請求項 24】 電子回路を構成する金属材料からなる電子回路部品につい

て、請求項 2 0 記載の方法により判定された腐食劣化状態に対して設定してある腐食劣化限界値を、請求項 2 0 記載の腐食減量又は腐食速度と当該金属材料からなる電子回路部品の腐食劣化指標との関係に当てはめて、前記電子回路部品を構成する金属材料の腐食減量限界値又は腐食速度限界値に換算することを特徴とする劣化診断方法。

【請求項 2 5】 前記電子回路を構成する金属材料が銅、前記電子回路部品が銅パターン配線である場合において、前記腐食劣化限界値は前記銅パターン配線の限界腐食減厚率であることを特徴とする請求項 2 4 記載の劣化診断方法。

【請求項 2 6】 前記電子回路を構成する金属材料がアルミニウム、前記電子回路部品が集積回路である場合において、前記腐食劣化限界値は前記集積回路のアルミニウム配線の限界腐食面積率であることを特徴とする請求項 2 4 記載の劣化診断方法。

【請求項 2 7】 前記電子回路を構成する金属材料が銀、前記電子回路部品が銀接点である場合において、前記腐食劣化限界値は前記銀接点の限界接触抵抗値であることを特徴とする請求項 2 4 記載の劣化診断方法。

【請求項 2 8】 大気環境の金属材料に対する有害性を環境評価点を用いて大気環境区分法を行うことによって評価する劣化診断方法において、前記環境評価点は請求項 9 記載の方法によって算出することを特徴とする劣化診断方法。

【請求項 2 9】 電子回路基板表面の汚損度と劣化指標との相関関数を予め求めておき、診断対象である電子機器における電子回路基板の汚損度を測定し、この測定汚損度を前記相関関数に当てはめて劣化指標に換算し、この劣化指標により前記電子機器の寿命を診断することを特徴とする劣化診断方法。

【請求項 3 0】 電子回路基板表面の汚損度と劣化費消との相関関数を予め求めておき、診断対象である電子機器における電子回路基板の現状汚損度及び一定期間経過後の汚損度をそれぞれ測定し、この各測定汚損度を前記相関関数にそれぞれ当てはめて劣化指標の経時変化を求め、この劣化指標の経時変化により前記電子機器の寿命を診断することを特徴とする劣化診断方法。

【請求項 3 1】 環境評価点と汚損度との相関関数を予め求めておき、前記汚損度は、大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離

を含む複数の環境因子の各々の量を、その量によって割り付けた各因子別評価点と各因子別重み係数の積の和から求めた環境評価点を前記相関関数に当てはめて決定することを特徴とする請求項 2 9 又は 3 0 記載の劣化診断方法。

【請求項 3 2】 前記汚損度として、前記電子回路基板表面に付着した塩素イオン、硝酸イオン及び硫酸イオンを含む陰イオンの単位面積当たりの付着量を用いることを特徴とする請求項 2 9 又は 3 0 記載の劣化診断方法。

【請求項 3 3】 前記劣化指標は、前記電子回路基板の熱分布画像のフラクタル次元変化率であることを特徴とする請求項 2 9 又は 3 0 記載の劣化診断方法。

【請求項 3 4】 前記劣化指標は、前記電子回路基板における導体パターンの腐食断線時間であることを特徴とする請求項 2 9 又は 3 0 記載の劣化診断方法。

【請求項 3 5】 前記劣化指標は、前記電子回路基板における導体間の絶縁抵抗値であることを特徴とする請求項 2 9 又は 3 0 記載の劣化診断方法。

【請求項 3 6】 電子回路基板表面の汚損度及び汚損速度を測定する汚損度測定手段と、電子回路基板の汚損度と劣化指標との相関関数を格納する劣化指標データベースと、前記汚損度測定手段から出力された汚損度測定値と前記劣化指標データベースから読み取った相関関数から前記汚損度測定値に対応した劣化指標値を算出する劣化指標値算出手段と、電子回路基板の劣化指標の寿命しきい値を格納する寿命データベースと、現状の劣化指標値と前記寿命データベースから読み取った寿命しきい値との差分に相当する差分汚損度を前記劣化指標データベースから読み取った相関関数から算出する差分汚損度算出手段と、この差分汚損度算出手段で算出された差分汚損度を前記汚損度測定手段から出力された汚損速度で除して余寿命を算出する余寿命算出手段とを有することを特徴とする劣化診断装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、金属材料、電子回路を構成する金属材料部品及び電子機器を構成す

る電子回路基板について、使用中に進行する腐食劣化、電気的特性の劣化ひいては寿命を診断する劣化診断方法およびその装置に関するものである。

#### 【0002】

##### 【従来の技術】

まず、金属材料一般について大気中における腐食劣化の診断に関する従来技術を説明する。大気環境中で使用される金属材料は、大気の温度や相対湿度、大気環境中に存在する各種腐食性ガスや海塩粒子の影響により化学反応を起こし腐食が進行する。金属材料が使用される大気環境は千差万別であり、クリーンルームのように温度や湿度がコントロールされ腐食性ガスや海塩粒子が殆ど存在しない環境や、地熱発電所など硫化水素ガス濃度の高い環境、海岸近くで常時海塩粒子が飛んでくる環境等様々である。また、金属材料の種類によっても大気環境下での耐蝕性能も異なっている。

#### 【0003】

従来、大気環境中で使用される金属材料の腐食劣化の診断は、使用される環境中に診断対象の金属材料を一定期間暴露し、回収して腐食減量を測定し、暴露期間と腐食減量の結果から腐食速度を求め、寿命に至るまでの時間を予測する方法がとられていた。しかし、金属の腐食は時間の経過とともに腐食速度が低下する傾向があることから金属の暴露期間により腐食速度に差が生じたり、暴露を開始する季節（夏・冬）によっても腐食速度に差があり、精度よく金属の腐食進行の予測をするためには複数の暴露期間による長期間にわたる暴露試験が必須であった。また、環境の一因子でもその値が変わると、その都度金属の暴露試験を実施しなければならないという問題があった。

#### 【0004】

また、大気環境を模擬促進した促進試験装置により金属材料の腐食試験を行い、寿命に至るまでの時間に促進試験の加速倍率を乗じて金属材料の腐食寿命を診断する方法もとられているが、実際の大気環境を促進試験として模擬することが難しく、環境因子や設定条件の違いから加速倍率の精度が悪く正確に金属材料の寿命を診断することは困難であった。

#### 【0005】

さらに、環境を分類して環境因子毎にその測定値の範囲に応じて評価点を与え、各環境因子の評価点を合計して合計評価点で環境を判断する方式は、日本電子工業振興協会の工業用計算機設置環境基準 J E I D A - 29 - 1990 等で採用されているが、これはあくまでも環境のクラス分けに用いられているのみで金属の劣化状態の評価や寿命診断には適用できない。

## 【0006】

以上のように、従来技術では大気環境で使用される金属材料の腐食状態や劣化状態の診断、あるいは腐食寿命の診断を行うには、その都度長期にわたる金属材料の暴露試験をしなければならず、膨大な時間と費用がかかり、また精度の高い寿命診断ができるものではなかった。

## 【0007】

次に、大気環境中で使用される電子回路を構成する金属材料部品の腐食による電気特性の劣化の診断に関する従来技術を説明する。大気環境中で使用される電子回路基板は、大気的环境因子、例えば温度、湿度、各種腐食性ガス及び海塩粒子等の影響により、電子回路を構成する金属材料、例えば配線材料の銅、集積回路リード端子の鉄鋼、半田接合部及び接栓端子の金メッキ等が腐食する。環境因子が金属材料に及ぼす影響が大きくなると電子回路基板の当該部分の腐食が著しくなり、断線、マイグレーションによる絶縁低下又は短絡、及び接触障害等の電氣的な動作不良が発生し、寿命に至る。この内、マイグレーションによる劣化の評価に関するものとして次の2件の従来技術がある。まず、特開平6-11530号公報「電子部品の絶縁信頼性寿命の評価方法およびその装置」は、プリント配線板、電子部品等の絶縁信頼性からその寿命を評価する方法に係り、特にマイグレーション劣化による寿命の早期診断を行うのに好適な寿命評価方法を提案している。初期及び途中で誘電特性として絶縁抵抗又は漏洩電流を測定し、その特性の時間的变化から寿命を判定する方法である。次に、特開平7-249840号公報「プリント基板及びその劣化診断方法」は、プリント基板における腐食、マイグレーションに起因する短絡等の劣化を定量的に診断する方法を提案している。劣化診断用の1対の電極導体をプリント基板に予め印刷し、電極導体相互間における低周波領域での誘電正接を測定し、この誘電正接の値に基づいて導体交

互間における短絡に至るまでの時間を予測する劣化診断方法である。

【 0 0 0 8 】

従来の電子回路基板の導体は導体幅が広いため、大気環境因子の影響による導体の腐食でマイグレーション等による絶縁劣化がまず発生し、さらに導体の腐食が進行して導体の断線に至る場合が多かった。このような電子回路基板の劣化では上記従来技術の絶縁劣化診断方法は有効である。しかし、近年、電子回路基板の導体は細線化が進み、マイグレーションによる絶縁劣化が発生する前に導体が断線することが多く、上記の劣化及び寿命診断方法は導体の断線の予測には適さない。そして、導体の断線寿命を予測する場合には、当該電子回路基板の導体部分を切断し、導体の断面観察により、残存導体厚さから余寿命を予測する手法がとられていた。そのためには、製品として機能しているものを引取り、破壊調査をするため、引取り基板の代りに新たな電子回路基板を調整し、納品しなくてはならなかった。

【 0 0 0 9 】

また、電子回路基板以外の電子回路部品の寿命評価には、装置を構成するプリント回路実装基板上の電子部品の寿命を個々の部品を基板から取り外して加速劣化試験を行ったり、特定の電気特性を計測して評価する手法が用いられてきた。前者の場合、劣化ストレスを印加し部品の性能を確認し故障判定を行う。そして、各部品種毎に加速試験時間に対する累積故障率の推移を導出し、所望の累積故障率で寿命点を定義する。この例として、特開平 1 0 - 3 1 3 0 3 4 号公報では、樹脂封止タイプの I C の寿命を評価する場合に、基板から取り外した I C の樹脂パッケージを開封して内部の I C チップ上のアルミ配線腐食状態を観察し、アルミ配線の腐食面積率を画像計測することで、ロジック不良や誤動作をもたらす I C 劣化の早期検出及び定量的な余寿命評価を実現している。また、後者の例として、電子回路を構成する銀接点の場合には、大気環境因子の影響を受けた銀接点表面に腐食性皮膜が形成されて接触抵抗が増大し接触不良を起こすので、当該環境で使用されている銀接点のある電子部品を取り外し、その部品の接触抵抗を測定することで、その部品の劣化状態を判定している。

【 0 0 1 0 】

次に、電子機器を構成する電子回路基板について、使用中に、その電子回路基板表面の汚損により進行する電気特性の劣化の診断について説明する。大気環境で使用される電子回路基板は表面に大気中に浮遊する塵埃が付着し、経時的に推積する。このような塵埃には大気環境中に存在する各種腐食性ガスや海塩粒子が吸着するため、湿度が高くなるとイオン性物質（例えば、塩素イオン、硫酸イオン、硝酸イオン、ナトリウムイオン等）がイオン解離し、電子回路基板表面の絶縁低下や導体パターン金属の腐食の原因となる。特にファンを用いて強制的に冷却している制御盤内の電子回路基板は局所的に塵埃が推積するため、短期間で絶縁低下や導体パターンの断線現象が発生することが多い。このような場合にも、汚損した電子回路基板上の絶縁抵抗値や導体パターンの腐食状態を調べるためには、基板上の回路の一部を破壊する手法が多くとられている。

#### 【 0 0 1 1 】

以上のように、電子回路を構成する金属材料部品の腐食に関わる各種劣化や寿命の診断、汚損した電子回路の絶縁抵抗値や導体パターンの腐食状態等を調べるためには、当該回路や部品の一部又は全部を取り外し、いわば回路や部品の破壊試験を行うことが不可欠であり、多大の労力と費用を要するばかりか、この方法では、たとえ診断の結果、装置の余寿命が十分あることが確認されたとしても、診断後に再びその装置を使用することはできず、新たに電子回路を調整し、電子機器に組み込む必要がある等の大きな問題があった。

#### 【 0 0 1 2 】

また、電子回路基板の劣化診断の方法として、熱分布を測定するものがあるが、熱分布を測定するためには電子回路基板を抜き取り、新たに電源を投入して基板全体の発熱分布を測定する必要があった。この例として、特開平 1 1 - 1 4 5 7 6 号公報「実装基板の劣化診断および装置」では、電源投入後から実装基板の表面温度が定常状態になるまでの温度分布を計測及び画像化した昇温画像データを過去の昇温画像データと比較し、両者の間の温度分布変化量を計算し、この値が予め設定されたしきい値を超えたときに劣化と判断している。この方法では、電子回路基板を破壊する必要はないが、特殊な熱分布画像の解析装置が必要である。

## 【 0 0 1 3 】

## 【発明が解決しようとする課題】

従来技術では、大気環境で使用される金属材料の腐食や劣化状態及び腐食寿命を診断するには長期にわたる金属材料の暴露試験が不可欠であること、また電子回路を構成する金属材料部品の腐食に関わる各種電気特性の劣化状態の診断、電子機器を構成する電子回路基板の腐食状態や絶縁劣化状態等の診断には、その金属材料部品や電子回路基板の一部又は全部を回収し、破壊試験によってのみしか、その電気的特性等を試験することができず、しかも診断後に再びその部品や基板を使用することができないことなどの問題があった。また、熱分布画像による診断は非破壊で行えるが、特殊な解析装置が必要で、汎用性が高いものではなかった。

## 【 0 0 1 4 】

本発明は、上記に鑑みてなされたもので、長期に渡る金属材料の暴露試験を必要とすることなく金属材料の寿命を診断することができ、電子回路を構成する金属材料部品について、電子回路を回収し破壊試験を行うことを必要とすることなく金属材料部品の劣化状態を判定することができ、電子回路基板を回収し破壊試験を行うことを必要とすることなく電子機器の寿命を診断することができる劣化診断方法およびその装置を提供することを目的とする。

## 【 0 0 1 5 】

## 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、請求項 1 記載の劣化診断方法は、金属材料の大気中での暴露日数に対する腐食減量を大気環境の有害性の程度を表す環境評価点の関数として定式化し、この関数から求めた腐食減量を基に前記金属材料の寿命を診断することを要旨とする。この構成により、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、当該金属材料の大気環境中での腐食減量の進行状態、即ち、暴露日数と腐食減量の関係が得られて、当該大気環境における、その金属材料の寿命が診断される。

## 【 0 0 1 6 】

請求項 2 記載の劣化診断方法は、大気環境における金属材料の腐食速度を当該

大気環境の有害性の程度を表す環境評価点の関数として定式化し、この関数から求めた腐食速度を基に前記金属材料の寿命を診断することを要旨とする。この構成により、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、当該金属材料の大気環境中での腐食速度が得られて、当該大気環境における、その金属材料の寿命が診断される。

## 【 0 0 1 7 】

請求項 3 記載の劣化診断方法は、上記請求項 1 又は 2 記載の劣化診断方法において、前記環境評価点は、大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複数の環境因子の各々の量を、その量によって割り付けた各因子別評価点と各因子別重み係数の積の和とすることを要旨とする。この構成により、環境評価点は、金属材料が暴露される大気環境中の複数の環境因子の各々の量を測定し、測定された各量の値により割り付けた各因子別評価点と各因子別重み係数の積の和として算出される。

## 【 0 0 1 8 】

請求項 4 記載の劣化診断方法は、上記請求項 3 記載の劣化診断方法において、前記大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複数の環境因子の各々の因子別評価点は、当該各環境因子の量の範囲によってクラス分けして割り付けるか又は当該各環境因子の量の中央値の関数の何れかとすることを要旨とする。この構成により、請求項 1 又は 2 記載の方法による腐食減量又は腐食速度を求めるための環境評価点が適切に定められる。

## 【 0 0 1 9 】

請求項 5 記載の劣化診断方法は、上記請求項 3 又は 4 記載の劣化診断方法において、前記環境因子における腐食性ガスの量の測定方法は、前記大気環境に一定期間暴露したろ紙のガス吸着量として求めるろ紙法とし、前記腐食性ガスのうちの酸性ガスの測定は、セルロースろ紙に所定%の炭酸カリウム水溶液又は炭酸ナトリウム水溶液の何れかを含浸したアルカリろ紙により、また前記腐食性ガスのうちのアルカリ性ガスの測定は、ガラスろ紙に所定%リン酸水溶液を含浸した酸性ろ紙により測定を行うことを要旨とする。この構成により、酸性ガスの測定は、セルロースろ紙に例えば 5 ～ 3 0 % 炭酸カリウム水溶液又は例えば 5 ～ 3 0 %

炭酸ナトリウム水溶液を含浸したアルカリろ紙により測定され、またアルカリ性ガスの測定は、ガラスろ紙に例えば5～10%リン酸水溶液を含浸した酸性ろ紙により行われる。これらのアルカリろ紙、酸性ろ紙は大気環境に例えば1～3ヶ月程度暴露される。腐食性ガス量の測定にろ紙法を採用することで、大気環境の風速や風量の影響も加味した測定が可能になる。また、アルカリろ紙及び酸性ろ紙は小さな紙片で寿命診断対象の近傍に暴露でき、診断対象が晒される環境を正確に測定することができる。

#### 【0020】

請求項6記載の劣化診断方法は、上記請求項4記載の劣化診断方法において、前記各環境因子の量の範囲による因子別評価点のクラス分けは、少なくとも5段階とすることを要旨とする。この構成により、クラス分け及び因子別評価点の根拠は、支配環境因子が異なる国内のフィールド数百箇所の各環境因子の測定値とその環境に暴露した金属材料の腐食性の調査結果による。このように、実際に存在する測定値の範囲でクラス分けを5段階とすることで実環境をより精緻に区分でき、的確に大気環境を判定することが可能となる。

#### 【0021】

請求項7記載の劣化診断方法は、上記請求項6記載の劣化診断方法において、前記環境因子における相対湿度の因子別評価点は、雨、雪に直接晒される大気環境においては、各クラスの評価点に一定数の補正点を加えたものとすることを要旨とする。この構成により、大気環境が雨や雪が直接当たる屋外の場合は、腐食促進効果が大きいことから、各クラスの評価点に、補正点として例えば20点を加えた値を湿度の因子別評価点とする。

#### 【0022】

請求項8記載の劣化診断方法は、上記請求項6記載の劣化診断方法において、前記環境因子における海塩粒子の因子別評価点を、前記海岸からの距離によってクラス分けして割り付けたものとすることを要旨とする。この構成により、クラス分け及び因子別評価点の根拠は、支配環境因子が異なる国内のフィールド数百箇所の海岸からの距離と海塩粒子測定値とその環境に暴露した金属材料の腐食性の調査結果による。この結果、地図上の海岸からの距離を求めるだけで海塩粒子

の量を測定することなく、海塩粒子の因子別評価点を求めることが可能となる。

【 0 0 2 3 】

請求項 9 記載の劣化診断方法は、上記請求項 1 記載の劣化診断方法において、前記環境評価点は、特定の金属材料を大気環境中に所定期間に渡って暴露し、当該所定期間の暴露日数での前記特定の金属材料の腐食減量を測定し、この腐食減量と暴露日数を環境評価点との関係に当てはめることによって算出し、この算出した環境評価点を用いて他の金属材料の大気環境における寿命を診断することを要旨とする。この構成により、特定金属材料の暴露日数と腐食減量から環境評価点を逆算することで、他の任意の金属材料の寿命を診断することが可能となる。

【 0 0 2 4 】

請求項 1 0 記載の劣化診断方法は、上記請求項 9 記載の劣化診断方法において、前記特定の金属材料は銅であることを要旨とする。この構成により、銅はあらゆる環境因子を含む大気環境において、腐食に対する感受性が最も高いことから、逆算による環境評価点を精度良く決定することが可能となる。

【 0 0 2 5 】

請求項 1 1 記載の劣化診断方法は、上記請求項 1 記載の劣化診断方法において、大気環境における金属材料の腐食減量を、当該金属材料の当該大気環境に暴露された日数の平方根の 1 次式で表し、当該 1 次式中の係数を請求項 3 記載の前記環境評価点の多項式で表すことを要旨とする。この構成により、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、当該金属材料の大気環境中での暴露日数と腐食減量の関係が得られて、当該大気環境における、その金属材料の寿命を診断することが可能となる。

【 0 0 2 6 】

請求項 1 2 記載の劣化診断方法は、上記請求項 2 記載の劣化診断方法において、大気環境における金属材料の腐食速度を、当該金属材料の当該大気環境に暴露された日数の平方根の 1 次式で表し、当該 1 次式中の係数を請求項 3 記載の前記環境評価点の多項式で表すことを要旨とする。この構成により、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、当該金属材料の大気環境中での腐食速度が得られて、当該大気環境における、その金属材料の寿命を診断することが可能となる。

## 【 0 0 2 7 】

請求項 1 3 記載の劣化診断方法は、上記請求項 1 又は 1 1 記載の劣化診断方法において、金属材料が使用される大気環境について、当該大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複数の環境因子を所定期間に渡って測定し、この各測定値を用いて請求項 4 記載の方法により前記各因子別評価点を決定し、この決定した各因子別評価点を用いて請求項 3 記載の方法により前記環境評価点を決定し、この決定した環境評価点を用いて当該金属材料の腐食減量と暴露日数との関係を決定することを要旨とする。この構成により、大気環境の環境評価点の測定、評価に基づいて当該金属材料の当該大気環境中での腐食減量と暴露日数の関係が得られて、当該大気環境における、その金属材料の寿命が診断される。

## 【 0 0 2 8 】

請求項 1 4 記載の劣化診断方法は、上記請求項 1 又は 1 1 記載の劣化診断方法において、金属材料が使用される大気環境について、請求項 9 記載の方法により前記環境評価点を算出し、この算出した環境評価点を用いて当該金属材料の腐食減量と暴露日数との関係を決定することを要旨とする。この構成により、特定の金属材料の暴露試験のみを行って環境評価点を逆算することで、大気環境中での他の任意の金属材料の腐食減量と暴露日数の関係を得て、当該他の任意の金属材料の寿命が診断される。

## 【 0 0 2 9 】

請求項 1 5 記載の劣化診断方法は、上記請求項 2 又は 1 2 記載の劣化診断方法において、金属材料が使用される大気環境について、当該大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複数の環境因子を所定期間に渡って測定し、この各測定値を用いて請求項 4 記載の方法により前記各因子別評価点を決定し、この決定した各因子別評価点を用いて請求項 3 記載の方法により前記環境評価点を決定し、この決定した環境評価点を用いて当該金属材料の腐食速度を決定することを要旨とする。この構成により、大気環境の環境評価点の測定、評価に基づいて当該金属材料の当該大気環境中での腐食速度が得られて、

当該大気環境における、その金属材料の寿命が診断される。

【 0 0 3 0 】

請求項 1 6 記載の劣化診断方法は、上記請求項 2 又は 1 2 記載の劣化診断方法において、金属材料が使用される大気環境について、請求項 9 記載の方法により前記環境評価点を算出し、この算出した環境評価点を用いて当該金属材料の腐食速度を決定することを要旨とする。この構成により、特定金属材料の暴露試験のみを行って環境評価点を逆算することで、大気環境中での他の任意の金属材料の腐食速度を得て、当該他の任意の金属材料の寿命が診断される

請求項 1 7 記載の劣化診断方法は、金属材料を大気環境中に所定期間に渡って暴露し、当該所定期間の暴露日数での当該金属材料の腐食減量を測定し、この測定結果を用いて請求項 1 3 又は 1 4 記載の方法によって算出した金属材料の腐食減量と暴露日数の関係を補正することを要旨とする。この構成により、当該金属材料を大気環境中に所定の短期間暴露試験を行い、その試験結果により、その金属材料の腐食減量と暴露日数の関係がより精度の高いものに補正される。

【 0 0 3 1 】

請求項 1 8 記載の劣化診断方法は、金属材料を大気環境中に所定期間に渡って暴露し、当該所定の期間の暴露日数での当該金属の腐食減量を測定し、この測定結果を用いて請求項 1 5 又は 1 6 記載の方法によって算出した金属材料の腐食速度を補正することを要旨とする。この構成により、当該金属材料を大気環境中に所定の短期間暴露試験を行い、その試験結果により、その金属材料の腐食速度がより精度の高いものに補正される。

【 0 0 3 2 】

請求項 1 9 記載の劣化診断装置は、環境因子量測定手段で測定された各環境因子の量の測定値を入力する入力手段と、各環境因子の量と各因子別評価点の関係を与える関数を内蔵する第 1 のデータベースと、各種金属材料に対して環境評価点と各因子別評価点の関係を与える関数を内蔵する第 2 のデータベースと、前記第 1 のデータベースから読み取った前記関数及び前記入力手段から入力した各環境因子の量を用いて各因子別評価点を演算する因子別評価点演算手段と、前記第 2 のデータベースから読み取った前記関数及び前記因子別評価点演算手段で演算

された各因子別評価点を用いて大気環境の有害性の程度を表す環境評価点を演算する環境評価点演算手段と、この環境評価点演算手段で演算された環境評価点を変数として定式化した関数により大気環境における金属材料の腐食減量と暴露日数との関係を演算する腐食減量演算手段と、前記環境評価点演算手段で演算された環境評価点を変数として定式化した関数により大気環境における金属材料の腐食速度を演算する腐食速度演算手段と、金属材料の所定期間の暴露日数での腐食減量に基づいて前記腐食減量演算手段で演算した腐食減量と暴露日数の関係を補正演算する腐食減量補正演算手段と、金属材料の所定期間の暴露日数での腐食減量に基づいて前記腐食速度演算手段で演算した腐食速度を補正演算する腐食速度補正演算手段と、前記腐食減量補正演算手段で補正された腐食減量と暴露日数の関係又は前記腐食速度補正演算手段で補正された腐食速度を基に金属材料の余寿命を算出する余寿命算出手段と、この余寿命算出手段で算出された金属材料別の余寿命を診断結果として出力する出力手段とを有することを要旨とする。この構成により、各環境因子の量の測定値を入力することで、各環境因子毎の因子別評価点の演算、大気環境の環境評価点の演算、その環境評価点の大気環境における金属材料の腐食減量と暴露日数の関係の演算、その環境評価点の大気環境における金属材料の腐食速度の演算、腐食減量と暴露日数の関係の補正演算、腐食速度の補正演算及び金属材料の余寿命算出を含む一連の演算及びその寿命診断結果の出力が行われる。

### 【 0 0 3 3 】

請求項 2 0 記載の劣化診断方法は、電子回路を構成する金属材料について、請求項 1 3 又は 1 4 記載の方法により演算される腐食減量、請求項 1 7 記載の方法より補正演算される腐食減量、請求項 1 5 又は 1 6 記載の方法により算出される腐食速度、又は請求項 1 8 記載の方法により補正演算される腐食速度を、前記電子回路を構成する金属材料に対して予め用意してある腐食減量又は腐食速度と当該金属材料からなる電子回路部品の腐食劣化指標との関係に当てはめて当該電子回路部品の腐食劣化指標に換算し、この腐食劣化指標により前記電子回路部品の腐食劣化状態を判定することを要旨とする。この構成により、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、電子回路部品の腐食劣化状態を判定することが可

能となる。

【0034】

請求項21記載の劣化診断方法は、上記請求項20記載の劣化診断方法において、前記電子回路を構成する金属材料が銅、前記電子回路部品が銅パターン配線である場合において、前記腐食劣化指標は前記銅パターン配線の腐食厚さであることを要旨とする。この構成により、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、銅パターン配線の腐食劣化を判定することが可能となる。

【0035】

請求項22記載の劣化診断方法は、上記請求項20記載の劣化診断方法において、前記電子回路を構成する金属材料がアルミニウム、前記電子回路部品が集積回路である場合において、前記腐食劣化指標は前記集積回路のアルミニウム配線の腐食面積率であることを要旨とする。この構成により、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、集積回路のアルミニウム配線の腐食劣化を判定することが可能となる。

【0036】

請求項23記載の劣化診断方法は、上記請求項20記載の劣化診断方法において、前記電子回路を構成する金属材料が銀、前記電子回路部品が銀接点である場合において、前記腐食劣化指標は前記銀接点の接触抵抗値であることを要旨とする。この構成により、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、銀接点の腐食劣化を判定することが可能となる。

【0037】

請求項24記載の劣化診断方法は、電子回路を構成する金属材料からなる電子回路部品について、請求項20記載の方法により判定された腐食劣化状態に対して設定してある腐食劣化限界値を、請求項20記載の腐食減量又は腐食速度と当該金属材料からなる電子回路部品の腐食劣化指標との関係に当てはめて、前記電子回路部品を構成する金属材料の腐食減量限界値又は腐食速度限界値に換算することを要旨とする。この構成により、大気環境の環境評価点を測定、評価して電子回路部品を構成する金属材料の腐食減量又は腐食速度を求め、腐食減量限界値又は腐食速度限界値と比較することで、電子回路部品の腐食劣化限界の判定を行

うことが可能となる。

【 0 0 3 8 】

請求項 2 5 記載の劣化診断方法は、上記請求項 2 4 記載の劣化診断方法において、前記電子回路を構成する金属材料が銅、前記電子回路部品が銅パターン配線である場合において、前記腐食劣化限界値は前記銅パターン配線の限界腐食減厚率であることを要旨とする。この構成により、銅パターン配線の腐食劣化限界値は、原厚に対する限界比率である限界腐食減厚率が用いられる。銅パターン配線の原厚は既知であるから、この限界腐食減厚率により限界腐食厚さが算出される。そして、この限界腐食厚さが腐食減量限界値又は腐食速度限界値に換算される。大気環境の環境評価点を測定、評価して銅パターン配線の腐食減量又は腐食速度を求め、腐食減量限界値又は腐食速度限界値と比較することで、銅パターン配線の腐食劣化限界の判定を行うことが可能となる。

【 0 0 3 9 】

請求項 2 6 記載の劣化診断方法は、上記請求項 2 4 記載の劣化診断方法において、前記電子回路を構成する金属材料がアルミニウム、前記電子回路部品が集積回路である場合において、前記腐食劣化限界値は前記集積回路のアルミニウム配線の限界腐食面積率であることを要旨とする。この構成により、アルミニウム配線の腐食劣化限界値は、総面積に対する限界値である限界腐食面積率が用いられる。この限界腐食面積率が腐食減量限界値又は腐食速度限界値に換算される。大気環境の環境評価点を測定、評価してアルミニウム配線の腐食減量又は腐食速度を求め、腐食減量限界値又は腐食速度限界値と比較することで、集積回路のアルミニウム配線の腐食劣化限界の判定を行うことが可能となる。

【 0 0 4 0 】

請求項 2 7 記載の劣化診断方法は、上記請求項 2 4 記載の劣化診断方法において、前記電子回路を構成する金属材料が銀、前記電子回路部品が銀接点である場合において、前記腐食劣化限界値は前記銀接点の限界接触抵抗値であることを要旨とする。この構成により、銀接点の腐食劣化限界値は限界接触抵抗値が用いられる。この限界接触抵抗値が腐食減量限界値又は腐食速度限界値に換算される。大気環境の環境評価点を測定、評価して銀接点の腐食減量又は腐食速度を求め、腐

食減量限界値又は腐食速度限界値と比較することで、銀接点の腐食劣化限界の判定を行うことが可能となる。

【 0 0 4 1 】

請求項 2 8 記載の劣化診断方法は、大気環境の金属材料に対する有害性を環境評価点を用いて大気環境区分法を行うことによって評価する劣化診断方法において、前記環境評価点は請求項 9 記載の方法によって算出することを要旨とする。この構成により、特定金属材料の暴露日数と腐食減量から逆算により求めた環境評価点を用いることで、大気環境の金属材料に対する有害性を簡便に評価することが可能となる。

【 0 0 4 2 】

請求項 2 9 記載の劣化診断方法は、電子回路基板表面の汚損度と劣化指標との相関関数を予め求めておき、診断対象である電子機器における電子回路基板の汚損度を測定し、この測定汚損度を前記相関関数に当てはめて劣化指標に換算し、この劣化指標により前記電子機器の寿命を診断することを要旨とする。この構成により、電子回路基板表面の汚損度を測定することで、この汚損度と劣化指標との相関関数から劣化指標が求められて電子機器の寿命が診断される。

【 0 0 4 3 】

請求項 3 0 記載の劣化診断方法は、電子回路基板表面の汚損度と劣化費消との相関関数を予め求めておき、診断対象である電子機器における電子回路基板の現状汚損度及び一定期間経過後の汚損度をそれぞれ測定し、この各測定汚損度を前記相関関数にそれぞれ当てはめて劣化指標の経時変化を求め、この劣化指標の経時変化により前記電子機器の寿命を診断することを要旨とする。この構成により、電子回路基板表面の汚損度を現状と一定期間経過後について測定することで、汚損度と劣化指標との相関関数から劣化指標の経時変化が求められて電子機器の寿命が診断される。

【 0 0 4 4 】

請求項 3 1 記載の劣化診断方法は、上記請求項 2 9 又は 3 0 記載の劣化診断方法において、環境評価点と汚損度との相関関数を予め求めておき、前記汚損度は、大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複

数の環境因子の各々の量を、その量によって割り付けた各因子別評価点と各因子別重み係数の積の和から求めた環境評価点を前記相関数に当てはめて決定することを要旨とする。この構成により、汚損度の直接測定に代えて、大気環境の環境評価点を求め、この環境評価点から換算した汚損度を基に電子機器の寿命が診断される。

## 【 0 0 4 5 】

請求項 3 2 記載の劣化診断方法は、上記請求項 2 9 又は 3 0 記載の劣化診断方法において、前記汚損度として、前記電子回路基板表面に付着した塩素イオン、硝酸イオン及び硫酸イオンを含む陰イオンの単位面積当たりの付着量を用いることを要旨とする。この構成により、絶縁低下や腐食に影響の大きい陰イオンの電子回路基板表面への付着量を測定することで、電子機器の寿命が診断される。

## 【 0 0 4 6 】

請求項 3 3 記載の劣化診断方法は、上記請求項 2 9 又は 3 0 記載の劣化診断方法において、前記劣化指標は、前記電子回路基板の熱分布画像のフラクタル次元変化率であることを要旨とする。この構成により、電子回路基板表面の汚損度を測定することで、この汚損度から電子回路基板の熱分布画像のフラクタル次元変化率が求められて電子機器の寿命が診断される。

## 【 0 0 4 7 】

請求項 3 4 記載の劣化診断方法は、上記請求項 2 9 又は 3 0 記載の劣化診断方法において、前記劣化指標は、前記電子回路基板における導体パターンの腐食断線時間であることを要旨とする。この構成により、電子回路基板表面の汚損度を測定することで、この汚損度から導体パターンの腐食断線時間が求められて電子機器の寿命が診断される。

## 【 0 0 4 8 】

請求項 3 5 記載の劣化診断方法は、上記請求項 2 9 又は 3 0 記載の劣化診断方法において、前記劣化指標は、前記電子回路基板における導体間の絶縁抵抗値であることを要旨とする。この構成により、電子回路基板表面の汚損度を測定することで、この汚損度から導体間の絶縁抵抗値が求められて電子機器の寿命が診断される。

## 【 0 0 4 9 】

請求項 3 6 記載の劣化診断装置は、電子回路基板表面の汚損度及び汚損速度を測定する汚損度測定手段と、電子回路基板の汚損度と劣化指標との相関関数を格納する劣化指標データベースと、前記汚損度測定手段から出力された汚損度測定値と前記劣化指標データベースから読み取った相関関数から前記汚損度測定値に対応した劣化指標値を算出する劣化指標値算出手段と、電子回路基板の劣化指標の寿命しきい値を格納する寿命データベースと、現状の劣化指標値と前記寿命データベースから読み取った寿命しきい値との差分に相当する差分汚損度を前記劣化指標データベースから読み取った相関関数から算出する差分汚損度算出手段と、この差分汚損度算出手段で算出された差分汚損度を前記汚損度測定手段から出力された汚損速度で除して余寿命を算出する余寿命算出手段とを有することを要旨とする。この構成により、電子回路基板表面の汚損度及び汚損速度を測定し、この汚損度測定値に対応した劣化指標値を算出し、現状の劣化指標値とその寿命しきい値により差分汚損度を算出し、この差分汚損度と汚損速度測定値により電子機器の余寿命算出が実行される。

## 【 0 0 5 0 】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。

## 【 0 0 5 1 】

図 1 乃至図 8 は、本発明の第 1 の実施の形態を示す図である。まず、図 1 を用いて、本実施の形態の劣化診断装置の構成を説明する。同図において、1 は当該大気環境を測定する環境因子量測定手段であり、各種の腐食性ガス濃度計、温度計、相対湿度計、海塩粒子測定手段を含んでいる。各測定手段は、当該大気環境に 1 ～ 3 ヶ月間設置して環境因子の量を測定する。温度、相対湿度は自動記憶装置付き温湿度計で測定し、平均温度、平均湿度を求める。腐食性ガスは各腐食性ガス毎に連続ガス濃度測定器によりガス濃度を測定し、平均ガス濃度 ( p p m ) を求めたり、アルカリろ紙、酸性ろ紙を当該大気環境に一定期間暴露して、ろ紙の吸着したガス吸着量 ( m d d ) を求める。海塩粒子はガーゼ補集法で海塩粒子量 ( m d d ) を求めたり、当該大気環境の海岸からの距離 ( k m ) を求める。腐

食性ガス測定に用いるアルカリろ紙及び酸性ろ紙はサイズ（横 5 c m、縦 1 3 c mのものを通常使う）が小さく暴露場所に制限を受けることがないので、診断対象となる電子機器等のできるだけ近くに暴露するのが望ましい。これにより、診断対象物が晒される大気環境の環境因子量をより正確に計測することができる。

#### 【0052】

環境因子量測定手段 1 で測定された各因子の量は環境因子量入力手段としての環境因子量入力装置 2 により入力され、因子別評価点演算手段としての因子別評価点演算部へ送られる。因子別評価点演算部 3 は、環境因子量入力装置 2 の出力を用いて因子別評価点を算出する。因子別評価点演算部 3 は因子別評価点データベース（第 1 のデータベース）4 より因子量と因子別評価点との関係を示すデータを読み取り、因子別評価点を算出する。因子別評価点データベース 4 には、クラス分けされた環境因子の量による因子別評価点の他に、因子別評価点を環境因子の量を用いて算出するための関数が格納されている。格納された関数はクラス分けされたクラスの値とそのクラスの環境因子の量の中央値を補間する関数も含まれている。

#### 【0053】

5 は環境評価点演算手段としての環境評価点演算部であり、因子別評価点演算部 3 にて算出された各因子別の評価点に対して因子別重み係数データベース（第 2 のデータベース）6 から因子別の重み係数を読み出し各因子別評価点と各因子別重み係数の積の和により環境評価点を算出する。因子別重み係数データベース 6 は、金属材料と腐食性ガスの組み合わせにより決められた重み係数のテーブルが格納されている。また、因子別重み係数データベース 6 のデータは、ある環境因子のしきい値を設定し、しきい値を超えると他の因子の重み係数を変更する機能を具備する重み係数補正部 7 により変更される。

#### 【0054】

金属別腐食関数作成部 8 では、環境評価点演算部 5 で算出された環境評価点を用いて金属別の腐食減量関数と腐食速度関数を作成する。それぞれの関数は環境評価点と時間の関数として作成される。金属別の腐食減量関数と腐食速度関数の係数の算出式は金属別関数データベース 9 に格納されている。金属別腐食関数作

成部 8 には、関数補正部 1 0 があり、環境評価点を算出した当該環境で暴露した金属材料がある場合は腐食減量・腐食速度検出手段 1 1 により検出された腐食減量と腐食速度を用いて金属別腐食関数作成部 8 で作成した関数を補正する。1 2 は環境評価点算出部であり、腐食減量・腐食速度検出手段 1 1 にてある金属の腐食減量や腐食速度が算出されると、金属別関数データベース 9 に格納されている金属の腐食関数と金属の腐食減量及び暴露期間の値より環境評価点を算出する。環境評価点算出部 1 2 は環境因子量測定手段 1 が利用されない場合、ある金属の暴露結果（暴露期間、腐食減量）から環境評価点を求めることができる。

## 【 0 0 5 5 】

余寿命算出手段としての金属別余寿命算出部 1 4 では金属別腐食関数作成部 8 で作成された金属の腐食減量関数と腐食速度関数を用いて、金属の余寿命を演算する。金属別余寿命データベース 1 3 には、それぞれの金属の腐食減量限界値や腐食速度限界値が格納されており、金属別余寿命算出部 1 4 でのしきい値として使用される。算出された金属別の余寿命は出力手段としての診断結果表示部 1 5 にて金属材料の診断結果として表示される。また、複数の金属で構成される部品では、それぞれの金属別に余寿命が算出され、部品に使用されている金属の中から最も早く寿命に到達する金属の寿命を部品余寿命として算出し、診断結果表示部 1 5 にて部品の診断結果として表示される。1 6 は寿命因子換算データベースであり、金属の腐食減量や腐食速度を部品の寿命に直接関与する物理量に換算するための関数とそれらの寿命判定しきい値が格納されている。部品余寿命算出部 1 7 では金属別腐食関数から部品の寿命に直接関与する物量への変換を寿命因子換算データベース 1 6 のデータを用いて行い、部品の余寿命を算出する。算出結果は部品の余寿命結果として診断結果表示部 1 5 にて表示される。

## 【 0 0 5 6 】

上記の金属別余寿命算出部 1 4 には、腐食減量演算手段及び腐食速度演算手段が含まれている。腐食減量演算手段は金属別腐食関数作成部 8 で作成された金属腐食減量関数を用いて腐食減量の演算を行い、腐食速度演算手段は金属別腐食関数作成部 8 で作成された金属腐食速度関数を用いて腐食速度の演算を行う。また、関数補正部 1 0 には、腐食減量補正演算手段及び腐食速度補正演算手段が含ま

れている。腐食減量補正演算手段は腐食減量・腐食速度検出手段 1 1 より選ばれた被爆金属材料の腐食減量を用いて金属腐食減量関数の補正演算を行い、腐食速度補正演算手段は腐食減量・腐食速度検出手段 1 1 より選ばれた被爆金属材料の腐食速度を用いて金属腐食速度関数の補正演算を行う。以上述べた 1 から 1 5 までの構成要素により劣化診断装置が構成されている。

## 【 0 0 5 7 】

図 2 は、因子別評価点データベース 4 のクラス分けされた環境因子の量による因子別評価点を示している。環境因子の量により 5 つのクラスに分けられており、因子別評価点演算部 3 はこのテーブルを参照して測定した環境因子の量により因子別の評価点を得ることができる。測定する環境因子は、金属材料の腐食の程度を左右する主要な環境因子である温度、湿度、腐食性ガス（ $\text{SO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、等の硫黄系ガス、 $\text{NO}_2$  等の窒素酸化物ガス、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{HCl}$  等の塩化物ガス、 $\text{NH}_3$  ガス）、海塩粒子（海塩粒子量あるいは海岸からの距離）である。腐食は環境因子の複合作用により発生するが、その相互作用が複雑であることから、各環境因子のクラス分け及び評価点の決定は各環境因子毎に行う。クラス分け及び評価点の根拠は支配環境因子が異なる日本国内のフィールド数百箇所の各環境因子の測定値と当該環境に暴露した金属材料の腐食性の調査結果による。当該環境の各環境因子毎の評価点を求め合計することで、大気環境の各環境因子全体を考慮した環境評価点を求めることができ、環境評価点の数値により客観的に大気環境の腐食性を判定することができる。その結果、金属材料の腐食性を精度良く診断することができる。

## 【 0 0 5 8 】

次に、日本電子工業振興協会の工業用計算機設置環境基準 J E I D A - 2 9 - 1 9 9 0 の 4 段階のクラス分けと本実施の形態の 5 段階のクラス分けの違いを説明する。J E I D A - 2 9 - 1 9 9 0 では、各環境因子の設定値を 4 段階にクラス分けして割り付けた各因子別評価点を求め、その合計点により 5 段階に環境分類して定性的な環境の腐食性の指標にしている。図 3 は、J E I D A - 2 9 - 1 9 9 0 で提唱されている 4 段階のクラス分けと本実施の形態の 5 段階のクラス分けの違いを湿度因子について説明するためのグラフであり、クラス分けされた湿

度量の中央値とそのときの因子別評価点を通過する折れ線関数で示す。4段階のクラス分けの関数と比較し、本実施の形態の5段階のクラス分けの関数は湿度に対して評価点が加速的に増加している。これは、低湿度領域では湿度が金属材料の腐食反応に及ぼす影響が小さく、高湿度領域になると影響が大きくなることを良く反映している。続いてガスのクラス分けの違いについて説明する。図4の(a), (b)は、J E I D A - 2 9 - 1 9 9 0で提唱されている4段階のクラス分けと図2に示す本実施の形態の5段階のクラス分けの違いをガス因子について説明するためのグラフであり、クラス分けされた各ガス量の中央値とそのときの因子別評価点を通過する折れ線関数を示す。ガス検知量の単位が異なるので単純には比較できないが、J E I D A - 2 9 - 1 9 9 0の4段階のクラス分けの区分の偏りが明かである。これは4段階のクラス分けのうち、各ガスのクラス4の測定値の上限値が人間が作業できる各ガスの最大許容濃度を示しているためである。したがって、実際存在する環境を区分しているのはクラス1～3の3区分である。これに対し、本実施の形態の腐食性ガスのクラス分けは実際に存在する測定値の範囲で5段階に区分している。これにより、実環境をより精緻に区分でき、的確に大気環境を判定することができると同時に、金属材料の腐食寿命診断の精度を向上させることができる。したがって、本実施の形態による5段階のクラス分けテーブルを使用することにより、金属材料の腐食寿命をより正確に推定できることがわかる。

#### 【 0 0 5 9 】

図5は、因子別評価点データベース4に格納されている環境因子の量により因子別評価点を算出する関数の一例である。横軸は環境因子の量、縦軸は因子別評価点を示す。図の例では、図2に記載したクラス分けされた環境因子の量の中央値とそのときの因子別評価点を通過する折れ線の関数と、それを近似した関数を示している。因子別評価点データベース4には、クラス分けテーブル、折れ線関数や近似関数、その他、実験で求められたデータに基づく関数が格納されている。例えば、測定された環境因子Bの量が $x$ であった場合、クラス分けテーブルの因子別評価点は $e_1$ 、クラス分けテーブルの折れ線関数では $e_2$ 、近似関数では $e_3$ が因子別評価点演算部3で算出される。この近似関数や折れ線関数を使用す

ることにより、環境因子の量による因子別評価点をより精密に算出することが可能となり、より正確な環境評価点の算出と金属劣化量の予測が可能となる。

## 【 0 0 6 0 】

環境評価点演算部 5 では因子別評価点演算部 3 にて算出された各因子別の評価点  $e$  に対して因子別重み係数データベース 6 から因子別の重み係数  $k$  を読み出し、式 (1) により環境評価点  $E$  を算出する。

## 【 0 0 6 1 】

【数 1】

$$E = \sum_{i=1}^n k_i \cdot e_i \quad (\text{ただし、} n : \text{因子の総数}) \quad \dots (1)$$

因子別重み係数データベース 6 には、金属と当該環境の支配的な腐食性ガスの組み合わせにより予め決められた重み係数のテーブルが格納されている。因子別評価点データベース 4 に格納されている評価点は、銅、銀、アルミニウム、鉄、ニッケル、クロム、亜鉛等の金属全般の腐食劣化の予測に適用することができる値である。しかし、例えば地熱発電所や下水処理場等の硫化水素ガスが支配的な環境では銅の腐食速度が非常に大きいため、因子別評価点データベース 4 に格納された評価点による診断では銅の腐食劣化の予測の精度が低下する。そこで、このような事態を改善するために、硫化水素ガス環境における銅の腐食診断の場合、硫化水素ガス因子別評価点に乗じる重み係数は適切な数値に、他の因子別評価点は 1 に設定されている。同様に金属と環境因子の組み合わせ毎に設定された各因子別の重み係数が因子別重み係数データベース 6 に格納されている。

## 【 0 0 6 2 】

また、その他にも因子別重み係数データベース 6 が重み係数補正部 7 により、重み係数が乗ぜられる因子の他の因子の量  $x$  によって重みを補正することもできる。例えば、環境因子 A の重み係数  $k_A$  は図 6 に示すように、その他の環境因子の量（ここでは、環境因子 B の量）により重み係数補正部 7 で変更される。即ち、重み係数  $k$  は環境因子の量  $x$  による関数として表現される。

## 【 0 0 6 3 】

## 【数2】

$$k_i = f(x_j) \quad (\text{ただし、} i \neq j) \quad \dots (2)$$

金属別腐食関数作成部8では環境評価点演算部5で算出された環境評価点を基に、金属種類別の腐食減量関数と腐食速度関数を作成する。金属の腐食減量関数Wは、その金属が設置（暴露）された大気環境の環境評価点Eと暴露された期間d（日数）の関数として作成される。

## 【0064】

$$W = f(E, d) \quad \dots (3)$$

典型的な腐食減量関数は暴露された時間dの平方根の1次式として表され、1次式の各係数は環境評価点の多項式として記述できる。即ち、1次式の係数をそれぞれ $\alpha$ 、 $\beta$ とした場合、金属の腐食減量関数は式（4）で示される。

## 【0065】

$$W = \alpha(E) \cdot \sqrt{d} + \beta(E) \quad \dots (4)$$

図7には式（4）に基づいた金属の腐食減量関数Wと大気環境暴露時間dのグラフを示す。式（4）の環境評価点Eの多項式 $\alpha$ 、 $\beta$ は金属の種類によって多項式の項数と係数が異なり、金属別の項数と係数は金属別関数データベース9に格納されている。また、式（4）を時間dについて微分した式（5）が金属の腐食速度を示す。

## 【0066】

## 【数3】

$$\begin{aligned} dW/dt &= g(E, d) \\ &= \alpha(E)^2 / (W - \beta(E)) \quad \dots (5) \end{aligned}$$

式（4）及び式（5）が得られることにより、環境評価点Eと暴露期間dがわかれば、その大気環境での金属の腐食減量及び腐食速度を求めることができる。即ち、現地の環境での金属の腐食減量を調査し、金属の劣化状態を把握したい場合、現地に暴露されている金属を調査しなくても、腐食がどの程度進んでいるかを推定することができる。よって、金属材料の劣化状態を定量的に表現することが可能となる。また、腐食減量に限界値がある場合、腐食減量及び腐食速度関数を用いることで、現状から限界値に到達するまでの期間を推定することができる。

め、金属材料の余寿命を定量的に算出することができる。

#### 【 0 0 6 7 】

図 8 は、金属材料の腐食減量関数を補正する方法を示している。金属別腐食関数作成部 8 で作成された関数は、ある環境評価点で一意に決定される。図 8 に示すグラフ a が、ある環境評価点 A により作成された腐食減量関数である。しかし、同一環境評価点 A で同一金属であっても、環境評価点 A を構成する環境因子の量の違いがあり、金属の腐食減量にばらつきが存在する。図 8 にばらつきの範囲の最大値を  $a_{\max}$ 、ばらつきの範囲の最小値を  $a_{\min}$  として示す。通常、金属の腐食減量はグラフ a に従う、そのため、グラフ a を用いることで金属の腐食減量を推定することができる。ここで、当該環境中に所定の期間、金属材料を暴露することにより、金属の腐食減量と暴露期間との関係を把握することができるため、ばらつきの範囲の中から、金属腐食減量関数を決定することができる。例えば、金属暴露の結果、暴露期間 b で腐食減量が B であったとすると腐食減量関数は点 (b, B) を通過する関数に補正できる。

#### 【 0 0 6 8 】

次に、短期間暴露された金属材料の腐食減量又は腐食速度を用いて環境評価点を得る方法を述べる。金属の腐食減量は式 (3) に示すように、金属の暴露期間と暴露した大気環境の環境評価点との関数で表せる。この関数は金属別関数データベース 9 に格納されている。そこで、短期間暴露された金属の腐食減量が既知であれば、暴露期間と腐食減量及び式 (3) を用いて環境評価点を導出することができる。また、腐食速度と式 (5) を用いても同様である。このように、環境因子量の測定を行わなくても短期間暴露された金属の腐食減量又は腐食速度の情報を用いて環境評価点を導出でき、導出した環境評価点を用いて、暴露した金属以外の腐食減量関数や腐食速度関数を作成することができる。

#### 【 0 0 6 9 】

金属別余寿命算出部 1 4 では、金属別腐食関数作成部 8 と関数補正部 1 0 にて作成された腐食関数を用いて金属の腐食予想量と金属の腐食限界値に至るまでの時間を算出する。金属の腐食限界値は金属別余寿命データベース 1 3 に格納されている。例えば、制御盤の外壁に使用されている金属は鉄で何ミリの厚さがあり

、どの程度まで腐食により減量した場合に使用不可となるかなどの情報が格納されている。金属別余寿命算出部 1 4 で算出された結果は診断結果表示部 1 5 に診断結果として表示される。また、金属別余寿命データベース 1 3 では、部品を構成する金属の種類とそれらの金属の減量が幾つになったときに部品として機能しなくなるかのしきい値データが格納されている。金属別余寿命算出部 1 4 では、部品を構成する金属のうち、最も早く寿命に到達する金属（余寿命が最も短い金属）の余寿命を部品の余寿命として算出する。算出結果は診断結果表示部 1 5 にて診断結果として表示される。

## 【 0 0 7 0 】

寿命因子換算データベース 1 6 には電子部品や機構部品の寿命しきい値のデータが格納されている。電子部品や機構部品の寿命しきい値は必ずしも金属の腐食減量や腐食速度ではなく、その他の物理量が寿命因子（腐食面積率、皮膜厚さ、腐食厚さ等）であることもあり、寿命因子換算データベース 1 6 には金属の腐食減量や腐食速度をその他の寿命因子に換算するための関数も格納されている。部品余寿命算出部 1 7 では寿命因子換算データベース 1 6 のデータと金属別腐食関数作成部 8 で作成された関数を用いて部品の余寿命を算出し、結果を診断結果表示部 1 5 にて診断結果として表示する。

## 【 0 0 7 1 】

図 9 乃至図 1 1 には、本発明の第 2 の実施の形態を示す。本実施の形態は、大気環境中で使用される電子回路基板の劣化診断方法である。本実施の形態の寿命診断対象は電子回路基板の導体であり、導体の構成金属材料は銅である。銅は環境因子の 1 つである硫化水素ガスにより著しく腐食する特性を有していることから、硫化水素ガスが支配的な大気環境においては、硫化水素の因子別評価点に 1 を超える重み係数を乗じる。即ち、図 1 の重み係数補正部 7 にて硫化水素に対応する係数を補正する。銅に対する腐食減量関数  $W_{cu}$  は、式 (4) より次の式 (6) となる。

## 【 0 0 7 2 】

## 【数 4】

$$W_{cu} = f_{cu}(E, d) = \alpha_{cu}(E) \cdot \sqrt{d} + \beta_{cu}(E) \quad \dots (6)$$

しかし、式（６）で計算した銅の腐食量を、直接導体の腐食量に当てはめることはできない。電子回路基板の導体は大気環境に直接晒されていないからである。図 9 に示すように、導体 1 9 の表面には溶剤レジスト 2 0 が印刷されている。1 8 は基材である。導体 1 9 の腐食は溶剤レジスト 2 0 のピンホールから腐食性ガス、海塩粒子又は水分が侵入することで発生する。そこで、環境試験槽に銅板とモデル基板を暴露し、所定の時間毎に銅板の腐食量と電子回路基板の導体の腐食厚さとの関係を調査することで、図 1 0（a）のような関数を予め作成しておく。この関数は図 1 の寿命因子換算データベース 1 6 に格納されている。格納する関数は、温度、湿度、腐食性ガスの種類及び濃度等の条件の組み合わせを変えて実施した環境試験で得られたもの数種類を格納する。電子回路基板の導体腐食断面は図 1 1 に示すように局所的に腐食部分 1 9 a が進行するが、腐食厚さは最も腐食 1 9 a が進行している部分で測定する。式（６）により当該大気環境に設置されてから  $t$  時間後の銅の腐食量が予測でき、図 1 0（a）の関係曲線により  $t$  時間後の銅の腐食量に対応する  $t$  時間後の導体腐食厚さが推定できることから、導体の腐食状態の劣化状態判定が可能になる。

### 【 0 0 7 3 】

寿命予測は以下の方法で行う。初期導体厚さに対する導体腐食厚さを腐食減厚率と呼ぶ。導体の腐食は導体厚さが初期の半分以下になると急激に進行することから、腐食減厚率が 4 0 % ～ 5 0 % を限界寿命判定値とする。導体幅が  $250\mu\text{m}$  以下の細線パターンは一旦腐食が発生すると進行が早いことから限界腐食減厚率を 4 0 % とし、導体幅が  $250\mu\text{m}$  を超える導体は限界腐食減厚率を 5 0 % とする。例えば幅  $150\mu\text{m}$ 、厚さ  $35\mu\text{m}$  の導体の限界導体腐食厚さは、 $35 \times 0.4 = 14\mu\text{m}$  とする。図 1 0（b）に示すように限界導体腐食厚さに対応する銅の限界腐食量を求める。次に、この銅の限界腐食量から、式（５）を用いて銅の限界腐食量に至る時間が求められる。この時間が当該大気環境における当該電子回路基板の導体寿命時間である。診断対象導体は電子回路基板内の幅が最も小さいものを選択する。寿命予測精度を上げるために、銅板を大気環境中に所定時間に渡って暴露し、腐食量を測定し、腐食減量と時間の関係を補正する方法及び定期点検時に製品基板あるいは寿命診断用の基板の導体腐食厚さを測定し、図

10 (a) の関数を補正する方法も利用できる。また、電子回路基板の導体表面にはソルダーレジストだけでなく、耐環境性向上のためにコーティング剤が塗布されていたり、又は部品実装工程で使用する半田フラックスが残存している無洗浄基板が多い。そのため、基板の種類毎に図 10 (a) のような導体腐食厚さと銅の腐食量の関数を作成し、寿命因子換算データベース 16 に格納する。

## 【0074】

図 12 乃至図 16 には、本発明の第 3 の実施の形態を示す。図 12 は加速劣化試験により得られるアルミニウムの腐食減量と集積回路のアルミニウム配線の腐食面積率の相関関数  $1(W)$  を示す図、図 13 は図 1 の寿命因子換算データベース 16 に格納された腐食面積率データベースの詳細を説明するための図、図 14 は同じく図 1 の寿命因子換算データベース 16 に格納された寿命診断データベースの詳細を説明するための図、図 15 は集積回路のアルミ配線腐食面積率の時系列曲線  $U = m(t)$  の詳細を説明するための図、図 16 はアルミ配線腐食面積率と故障の相関曲線  $F = n(U)$  の詳細を説明するための図である。

## 【0075】

まず、第 1 の実施の形態で述べたように、環境因子の量を測定し、当該大気環境におけるアルミニウムの腐食減量  $Wal = f(E, d)$  を演算する。次に、予め寿命因子換算データベース 16 に用意しておいたアルミニウム腐食減量  $Wal$  と集積回路のアルミ配線腐食面積率の相関関数  $U = 1(W)$  に前記演算結果を代入し、集積回路の腐食面積率を導出する。相関関数  $1(W)$  は、集積回路のアルミ配線腐食面積率の時系列変化曲線  $U = m(t)$  を作成する際に、同条件の加速劣化試験をアルミニウムのテストピースに施すことによって作成される。所望の時間毎に複数の集積回路との複数のテストピース試験槽からサンプリングし、集積回路のアルミ配線腐食面積率とアルミテストピースの腐食減量を計測するので、図 12 に示すように、グラフの両軸にある分布幅を持ったデータプロットとなる。この際、各分布の平均値データの回帰近似により相関曲線を導出する。なお、この相関曲線として、アルミ腐食速度  $dWal/dt$  と集積回路のアルミ配線腐食面積率の相関関数を用い、大気環境におけるアルミニウムの腐食速度  $dWal/dt = g(E, d)$  の演算結果を代入して、集積回路のアルミ配線腐食面積率を導出

してもよい。これらの相関曲線  $U=1(W)$  もしくは  $U=1(dW/dt)$  は、集積回路の材質や回路の種類等によって傾向が異なることが判明している。そこで、腐食劣化状態判定の対象としたい集積回路種については、種類毎に前記相関曲線  $U=1(W)$  もしくは  $U=1(dW/dt)$  を予め作成しておき、図13に示すようなデータベースとして蓄えておく必要がある。

#### 【0076】

次に、導出した集積回路の腐食面積率を寿命診断データベースに照合する。この寿命診断データベースは、図14に示すとおり、集積回路の材質や回路の種類、年代別にそれぞれに対応するアルミ配線腐食面積率の時系列曲線  $U=m(t)$  とアルミ配線腐食面積率と故障率の相関関数  $F=n(U)$  を保存している。したがって、指定の対象の  $U=m(t)$  と  $F=n(U)$  を呼び出すことができる。 $U=m(t)$  と  $F=n(U)$  は、一般的に、それぞれ図15、図16に示すような傾向を示し、集積回路の材質や回路の種類、年代等によって若干その曲率や絶対値が異なる。しかし、腐食面積率と故障率の関係曲線  $F=n(U)$  から集積回路の寿命点（故障率が腐食面積率に対して急激に上昇する点）が定義できる。この点を寿命点腐食量  $u_c$  とし、腐食面積率の時系列曲線上に  $t_c=m^{-1}(u_c)$  を満たす寿命時間  $t_c$  を定めると、余寿命を推定することができる。即ち、診断時に前述した環境因子測定からの一連の手続きで導出した集積回路の腐食面積率と図15の  $U=m(t)$  との関係から導出した時間を  $T$  とすると、時間  $T$  は図15上の消費寿命に相当し、実時間軸上では、経年使用時間に相当する。一方、余寿命は加速試験時間軸上では、 $t_c-T$  で得られるので、比例配分式（余寿命）＝（経年使用時間）×（ $t_c-T$ ）／ $T$  より、実時間軸上での余寿命を算出できる。

診断結果については、診断結果表示部15においてCRTやプリンタ等に出力するとともに、記録媒体にも出力してデータベース化し、その後、同一の装置種や集積回路種の寿命診断を行う際に活用する。

#### 【0077】

以上のように、本実施の形態の寿命診断方法では、予め集積回路のアルミ配線腐食面積率とアルミニウムの腐食減量（もしくは腐食速度）の相関関数を用意しておくことで、集積回路を開封して実際にアルミ配線腐食量を計測することなく

、装置設置環境因子の量を測定するだけで、非破壊での集積回路の寿命の推定が可能となる。

#### 【 0 0 7 8 】

図 1 7 及び図 1 8 には、本発明の第 4 の実施の形態を示す。本実施の形態の寿命診断対象は電子回路に使用されるリレー等の金属接点を有する部品であり、部品の機能劣化を生ずる主な構成金属材料は銀である。第 1 の実施の形態に述べたように環境因子の量を測定し、銀の腐食関数を求める。銀の金属接点では性能劣化が硫化銀の腐食皮膜厚さに起因するため、第 2 の実施の形態と同様に環試験槽にて銀板を暴露し、所定の時間毎に銀板の腐食量と硫化銀の腐食皮膜厚さとの関係を調査し、関数関係を求める。この関数は図 1 の寿命因子換算データベース 1 6 に格納される。格納する関数は、温度、湿度、腐食性ガスの種類及び濃度等の条件の組み合わせを変えて実施した環境試験で得られたもの数種類を格納する。金属別腐食関数作成部 8 で求められた銀の腐食減量関数から寿命因子換算データベース 1 6 に格納された関数を用いて硫化銀の腐食皮膜厚さに換算し、図 1 7 に示す皮膜厚さと接触抵抗の関係から現在の接触抵抗を求め銀接点の腐食劣化の程度を判定する。また、図 1 7 の a に示すように、電子回路の銀接点の接触抵抗増加の限界値を設定し、図 1 8 に示すように、上記演算により当該環境での腐食減量を予測することにより腐食皮膜成長予測を行い接触抵抗限界値に対する腐食皮膜厚さに達するまでの時間を算出し、当該環境で使用した銀接点の余寿命を判定する。図 1 7 の a に示す銀接点の接触抵抗増加の限界値も寿命因子換算データベース 1 6 に格納されており、図 1 8 で示す余寿命は部品余寿命算出部 1 7 にて算出される。

#### 【 0 0 7 9 】

以上の方法により当該大気環境で使用されている電子回路を構成する銀接点の劣化状態を装置を停止することなく判定し、当該環境での銀接点の余寿命を予測することが可能となる。

#### 【 0 0 8 0 】

図 1 9 には、本発明の第 5 の実施の形態を示す。同図において、2 1 は汚染度を測定する汚染度測定手段である。電子回路表面の汚染物質を一定面積から採取

し、一定量の純水に溶解し、その汚染液の電導度を測定する。塩化ナトリウム水溶液の濃度と電導度の相関関係を予め求めておき、この関係から汚染液の電導度を塩化ナトリウム濃度に換算する。換算した塩化ナトリウム濃度と汚染液の容量及び汚染物質の採取面積から電子回路基板単位面積あたりに付着している汚染物質の等価塩分量即ち汚染度を求めることができる。この汚染度を当該電子回路基板が設置されてからの経過時間で割ることで、汚染速度を求めることができる。また、電気機器の使用環境は時として納入当初と診断時点では異なることから、現状の汚染速度を精度良く求めるためには、一定期間後に再度汚染度測定を行い、その汚染度の増加分から汚染速度を求めることが望ましい。製品電子回路基板で再測定が困難な場合は、汚染度測定用基板を制御基板内に一定期間暴露し、その基板の汚染度測定結果から汚染速度を求める方法もある。

## 【0081】

上記の汚染度の代わりに、電子回路基板表面に付着している塩素イオン、硝酸イオン、硫酸イオンの単位面積当たりの合計付着量を求める方法をとることもできる。絶縁低下や腐食に影響の大きい上記3種類の陰イオンの合計付着量を汚損度の代わりに使うことで、さらに精度のよい診断が可能になる。陰イオンの測定は汚損度測定に使用した汚損液を分析することで容易に求めることができる。

## 【0082】

汚染度測定手段21で測定した汚損度及び汚染速度は、汚損度入力装置22により入力されて劣化指標値算出手段としての劣化指標値算出部23に送られる。劣化指標値算出部23は、劣化指標データベース24に格納されている汚損度と劣化指標の相関関数を読み取り、入力した汚損度に相当する劣化指標値を算出する。劣化指標データベース24に格納されている相関関数の劣化指標は、電子回路基板の熱分布画像のフラクタル次元変化率、電子回路基板の導体パターンの腐食断線時間又は電子回路基板における導体間の絶縁抵抗値等である。劣化指標値算出部23で算出された劣化指標値は、診断時点の劣化指標の特性値を示していることから、劣化診断結果として劣化診断結果表示部25にその値を表示するようになっている。

## 【0083】

次に寿命診断を行う。電子回路基板の各種劣化指標の寿命しきい値が格納されている寿命データベース27から寿命しきい値を読み出して寿命判定汚損度算出部26に送る。読み出した寿命しきい値を劣化指標データベース24に格納されている汚損度と劣化指標値の相関関数に代入して寿命判定汚損度を算出し、差分汚損度算出手段としての差分汚損度算出部28に送る。差分汚損度算出部28では、汚損度入力装置22から送られた汚損度と寿命判定汚損度算出部26から送られた寿命判定汚損度の差を算出し、余寿命算出手段としての余寿命算出部29に送る。余寿命算出部29では差分汚損度算出部28から送られた差分汚損度を汚損度入力装置22から送られた汚損速度で割って余寿命を算出する。算出結果は診断結果表示部30に表示する。

#### 【0084】

以上のように、本実施の形態によれば、汚損度と絶縁劣化又は腐食に係る電子回路基板の劣化指標との相関関数を予め用意しておくことで、計測のための電極を基板上に作成したり基板を破壊して劣化指標を計測することなく、汚損度を測定するだけで電子回路基板の寿命を推定することができる。

#### 【0085】

図20には、本発明の第6の実施の形態を示す。本実施の形態は、電子回路基板表面の汚損物質の殆どは大気中の浮遊塵埃に吸着して持ち込まれ、大気中の腐食性ガス量や海塩粒子量等の影響をトータルで数値化した環境評価点と汚損度に相関関係があることから、環境汚損の指標として汚損度の代わりに環境評価点を用いるものである。

#### 【0086】

図20は、本実施の形態の構成を示している。同図において、31は当該大気環境を測定する環境因子量測定手段であり、各種の腐食性ガス濃度計、温度計、相対湿度計、海塩粒子測定手段等で構成されている。各測定手段は当該大気環境に1～2ヶ月間設置して環境を測定する。環境因子量測定手段31で測定された各環境因子の量は環境因子量入力装置32により入力されて因子別評価点演算部33に送られる。因子別評価点演算部33は環境因子量入力装置32の出力を用いて因子別評価点データベース34より因子量と因子量評価点との関係を示すデ

ータを読み取り因子別評価点を算出する。環境評価点演算部 3 5 では、因子別評価点演算部 3 3 にて算出された各因子別評価点の和を算出する。汚損速度算出部 3 6 では、汚損速度換算データベース 3 7 に格納されている環境評価点と汚損速度の相関関数に環境評価点演算部 3 5 で算出された環境評価点を代入し、汚損速度を算出する。算出された汚損速度に当該環境における稼働年数を乗じることで診断時の推定汚損度を求める。

## 【 0 0 8 7 】

汚損速度算出部 3 6 で算出された汚損速度は前記図 1 9 の劣化指標値算出部 2 3 に送られ、劣化指標データベース 2 4 に格納されている汚損度と劣化指標の相関関数に代入して診断時点の劣化指標の特性値を算出し、劣化診断結果表示部 2 5 に診断結果を表示する。環境評価点から汚損速度、汚損度が換算されているので、寿命診断は第 5 の実施の形態と同様に行うことができる。

## 【 0 0 8 8 】

以上のように、本実施の形態によれば、制御盤等の奥に電子回路基板が設置されていて汚損度の測定が困難な場合や、連続運転しており停止することができない場合、汚損度測定の代わりに環境評価点を求め、環境評価点から換算した汚損度により電子回路基板の寿命診断が可能になる。

## 【 0 0 8 9 】

図 2 1 及び図 2 2 には、本発明の第 7 の実施の形態を示す。図 2 1 は劣化指標データベース 2 4 に格納された電子回路基板表面の汚損度 C とフラクタル次元変化率 F の相関関数を説明するための図である。図 2 2 は当該環境の汚損度 C の経時変化を示す図である。

## 【 0 0 9 0 】

まず、第 5 の実施の形態又は第 6 の実施の形態で示したように汚損度及び汚損速度を測定する。次に、予め用意されていた劣化指標データベース 2 4 に格納された図 2 1 の汚損度 C とフラクタル次元変化率 F の相関関数  $F = i(C)$  に、求めた汚損度  $C_a$  を代入し、診断時のフラクタル次元変化率  $F_a$  を求め、診断時の劣化状態を診断する。相関関数  $F = i(C)$  はフィールド回収品及び環境劣化試験により予め求めておいたものである。フラクタル次元変化率は、電子回路基板

に通電開始してから一定時間毎に収集した基板全体の熱分布画像のフラクタル次元を計算し、その時間毎の変化率を計算したものである。汚損度とフラクタル次元変化率の相関関数は電子回路基板の実装部品の種類や導体パターンの配線状態により異なることから、電子回路基板の種類毎に用意し、劣化指標データベース 2 4 に格納しておく必要がある。

## 【 0 0 9 1 】

次に、寿命データベース 2 7 から診断対象基板のフラクタル次元変化率の寿命しきい値  $F_c$  を呼び出す。寿命しきい値はフラクタル次元変化率と故障率の関係から電子回路基板の種類毎に予め求められている。この寿命しきい値を劣化指標データベース 2 4 に格納されている汚損度  $C$  とフラクタル次元変化率  $F$  の相関関数  $F = i(C)$  に代入し、寿命しきい値  $F_c$  に相当する汚損度即ち寿命判定汚損度  $C_c$  を算出する。

## 【 0 0 9 2 】

図 2 2 は当該環境の汚損度  $C$  の経時変化関数  $C = j(T)$  を示している。診断時の汚損度から寿命判定汚損度に達するまでの時間即ち余寿命を、寿命判定汚損度  $C_c$  から診断時の汚損度  $C_a$  を引いた差分汚損度を当該環境の汚損速度  $dC/dT$  で割ることで、即ち余寿命  $= (C_c - C_a) / (dC/dT)$  で推定することができる。

## 【 0 0 9 3 】

以上のように、本実施の形態によれば、電子回路基板のフラクタル次元変化率と汚損度の相関関数を予め求めておくことで、計測のために基板を制御盤から抜き取り新たに通電する必要や、計測のための特殊な装置を用意することなく、汚損度又は汚損度に代わり陰イオン（塩素イオン、硝酸イオン、硫酸イオン）の総付着量又は環境評価点を求めるだけでフラクタル次元変化率に基づく電子回路基板の寿命診断が推定できる。

## 【 0 0 9 4 】

図 2 3 には、本発明の第 8 の実施の形態を示す。図 2 3 は劣化指標データベース 2 4 に格納された電子回路基板表面の汚損速度  $D$  と電子回路基板導体パターンが断線するまでの時間  $P$  との相関関数を説明するための図である。

## 【 0 0 9 5 】

まず、第 5 の実施の形態又は第 6 の実施の形態で示したように汚損速度を測定する。次に、予め用意された劣化指標データベース 2 4 に格納された図 2 3 の汚損速度  $D$  とパターン断線時間  $P$  との相関関数  $P = k (C)$  に求めた汚損速度  $D_m$  を代入し、パターン断線までの時間  $P_m$  を算出する。求めたパターン断線時間  $P_m$  は、当該環境に設置されてから導体パターンが断線するまでの時間を表している。相関関数  $P = k (C)$  はフィールド回収品及び環境劣化試験により予め求めておいたものである。汚損速度  $D$  とパターン断線時間  $P$  の相関関数  $P = k (C)$  は、パターン幅、パターン金属の厚さ、パターン表面のソルダーレジスト膜の厚さ等によって傾向が異なることから、診断対象電子回路基板のパターン構成別の相関曲線を劣化指標データベース 2 4 に収納しておく必要がある。当然のことながら、電子回路基板上には種々の幅のパターンが配線されているが、当該電子回路基板の寿命判定は最も幅が狭いパターンで行う。

## 【 0 0 9 6 】

以上のように、本実施の形態によれば、電子回路基板の導体パターン断線時間と汚損速度の関係を求めておくだけで、製品基板を破壊しパターンの腐食状態を調査することなく、汚損速度又は汚損速度の代わりに陰イオン（塩素イオン、硝酸イオン、硫酸イオン）の付着速度又は環境評価点を求めるだけでパターンが腐食断線するまでの寿命を推定することができる。

## 【 0 0 9 7 】

図 2 4 及び図 2 5 には、本発明の第 9 の実施の形態を示す。図 2 4 は劣化指標データベース 2 4 に格納された電子回路基板表面の汚損度  $C$  と導体間の絶縁抵抗値  $I$  の相関関数を説明するための図である。図 2 5 は当該環境の汚損度  $C$  の経時変化を示す図である。

## 【 0 0 9 8 】

まず、第 5 の実施の形態又は第 6 の実施の形態で示したように汚損度及び汚損速度を測定する。次に、予め用意されていた劣化指標データベース 2 4 に格納された図 2 4 の汚損度  $C$  と絶縁抵抗値  $I$  の相関関数  $I = m (C)$  に、求めた汚損度  $C_a$  を代入し、診断時の絶縁抵抗値  $I_a$  を求め、診断時の劣化状態を診断する。

相関関数  $I = m(C)$  はフィールド回収品及び環境劣化試験により予め求めておいたものである。

#### 【0099】

次に、寿命データベース 27 から診断対象基板の絶縁抵抗値の寿命しきい値  $I_c$  を呼び出す。寿命しきい値は絶縁低下の影響を最も受けやすい箇所に基づき、電子回路基板の種類及び仕様毎に設定されている。この寿命しきい値を劣化指標データベース 24 に格納されている汚損度  $C$  と絶縁抵抗値  $I$  の相関関数  $I = m(C)$  に代入し、寿命しきい値  $I_c$  に相当する汚損度即ち寿命判定汚損度  $C_c$  を算出する。

#### 【0100】

図 25 は当該環境の汚損度  $C$  の経時変化関数  $C = n(T)$  を示している。診断時の汚損度から寿命判定汚損度に達するまでの時間即ち余寿命を、寿命判定汚損度  $C_c$  から診断時の汚損度  $C_a$  をひいた差分汚損度を当該環境の汚損速度  $dC/dT$  で割ることで、即ち余寿命  $= (C_c - C_a) / (dC/dT)$  で推定することができる。

#### 【0101】

以上のように、本実施の形態によれば、電子回路基板の絶縁抵抗値と汚損度の相関関数を予め求めておくことで、計測のために基板を制御盤から抜き取り、絶縁抵抗測定のための電極を貼付したりする必要なく、汚損度又は汚損度に代わり陰イオン（塩素イオン、硝酸イオン、硫酸イオン）の総付着量又は環境評価点を求めるだけで絶縁劣化による電子回路基板の寿命が推定できる。さらに、本実施の形態によることで、環境汚損により絶縁劣化が発生しやすいが、測定が不可能な部品リード間等の絶縁劣化状態が汚損度から推定できる。

#### 【0102】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、請求項 1 記載の劣化診断方法によれば、金属材料の大気中での暴露日数に対する腐食減量を大気環境の有害性の程度を表す環境評価点の関数として定式化し、この関数から求めた腐食減量を基に前記金属材料の寿命を診断するようにしたため、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、長期

間に渡る金属材料の暴露試験を必要とすることなく、当該金属材料の大気環境中の腐食減量を算定することができて、当該大気環境における、その金属材料の寿命を診断することができる。

#### 【0103】

請求項2記載の劣化診断方法によれば、大気環境における金属材料の腐食速度を当該大気環境の有害性の程度を表す環境評価点の関数として定式化し、この関数から求めた腐食速度を基に前記金属材料の寿命を診断するようにしたため、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、長期間に渡る金属材料の暴露試験を必要とすることなく、当該金属材料の大気環境中での腐食減量を算定することができて、当該大気環境における、その金属材料の寿命を診断することができる。

#### 【0104】

請求項3記載の劣化診断方法によれば、前記環境評価点は、大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複数の環境因子の各々の量を、その量によって割り付けた各因子別評価点と各因子別重み係数の積の和としたため、長期間に渡る金属材料の暴露試験を必要とすることなく腐食減量又は腐食速度を算定するための環境評価点を適正に求めることができる。

#### 【0105】

請求項4記載の劣化診断方法によれば、前記大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複数の環境因子の各々の因子別評価点は、当該各環境因子の量の範囲によってクラス分けして割り付けるか又は当該各環境因子の量の中央値の関数の何れかとしたため、環境評価点を定めるための因子別評価点を適切に決定することができる。

#### 【0106】

請求項5記載の劣化診断方法によれば、前記環境因子における腐食性ガスの量の測定方法は、前記大気環境に一定期間暴露したろ紙のガス吸着量として求めるろ紙法とし、前記腐食性ガスのうちの酸性ガスの測定は、セルロースろ紙に所定%の炭酸カリウム水溶液又は炭酸ナトリウム水溶液の何れかを含浸したアルカリろ紙により、また前記腐食性ガスのうちのアルカリ性ガスの測定は、ガラスろ紙

に所定%リン酸水溶液を含浸した酸性ろ紙により測定を行うようにしたため、腐食性ガス量の測定にろ紙法を採用することで、大気環境の風速や風量の影響も加味した測定をすることができ、また、ろ紙は小さな紙片で寿命診断対象の近傍に暴露できるので、診断対象が晒される環境を正確に測定することができる。したがって、金属材料の寿命を精度良く診断することができる。

## 【 0 1 0 7 】

請求項 6 記載の劣化診断方法によれば、前記各環境因子の量の範囲による因子別評価点のクラス分けは、少なくとも 5 段階としたため、実際に存在する測定値の範囲でクラス分けを 5 段階とすることで実環境をより精緻に区分することができ、的確に大気環境を判定することができる。したがって、金属材料の寿命を、より正確に診断することができる。

## 【 0 1 0 8 】

請求項 7 記載の劣化診断方法によれば、前記環境因子における相対湿度の因子別評価点は、雨、雪に直接晒される大気環境においては、各クラスの評価点に一定数の補正点を加えたものとしたため、大気環境が雨や雪が直接当たる屋外の場合は、腐食促進効果が大きいことから、大気環境の腐食性を精度良く診断するための湿度の因子別評価点を適切に決定することができる。

## 【 0 1 0 9 】

請求項 8 記載の劣化診断方法によれば、前記環境因子における海塩粒子の因子別評価点を、前記海岸からの距離によってクラス分けして割り付けたものとしたため、クラス分け及び因子別評価点の根拠は、支配環境因子が異なる国内のフィールド数百箇所の海岸からの距離と海塩粒子測定値とその環境に暴露した金属材料の腐食性の調査結果による。この結果、地図上の海岸からの距離を求めるだけで実際に海塩粒子の量を測定することなく、海塩粒子の因子別評価点を求めることができる。

## 【 0 1 1 0 】

請求項 9 記載の劣化診断方法によれば、前記環境評価点は、特定の金属材料を大気環境中に所定期間に渡って暴露し、当該所定期間の暴露日数での前記特定の金属材料の腐食減量を測定し、この腐食減量と暴露日数を環境評価点との関係に

当てはめることによって算出し、この算出した環境評価点を用いて他の金属材料の大気環境における寿命を診断するようにしたため、特定金属材料の暴露日数と腐食減量から環境評価点を逆算することで、長期間に渡る金属材料の暴露試験を必要とすることなく、他の任意の金属材料の寿命を診断することができる。

## 【 0 1 1 1 】

請求項 1 0 記載の劣化診断方法によれば、前記特定の金属材料は銅としたため、銅はあらゆる環境因子を含む大気環境において、腐食に対する感受性が最も高いことから、逆算による環境評価点を精度良く決定することができる。

## 【 0 1 1 2 】

請求項 1 1 記載の劣化診断方法によれば、大気環境における金属材料の腐食減量を、当該金属材料の当該大気環境に暴露された日数の平方根の 1 次式で表し、当該 1 次式中の係数を請求項 3 記載の前記環境評価点の多項式で表すようにしたため、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、長期間に渡る金属材料の暴露試験を必要とすることなく、当該金属材料の大気環境中での暴露日数と腐食減量の関係が得られて、その金属材料の寿命を診断することができる。

## 【 0 1 1 3 】

請求項 1 2 記載の劣化診断方法によれば、大気環境における金属材料の腐食速度を、当該金属材料の当該大気環境に暴露された日数の平方根の 1 次式で表し、当該 1 次式中の係数を請求項 3 記載の前記環境評価点の多項式で表すようにしたため、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、長期間に渡る金属材料の暴露試験を必要とすることなく、当該金属材料の大気環境中での腐食速度が得られて、その金属材料の寿命を診断することができる。

## 【 0 1 1 4 】

請求項 1 3 記載の劣化診断方法によれば、金属材料が使用される大気環境について、当該大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複数の環境因子を所定期間に渡って測定し、この各測定値を用いて請求項 4 記載の方法により前記各因子別評価点を決定し、この決定した各因子別評価点を用いて請求項 3 記載の方法により前記環境評価点を決定し、この決定した環境評価点を用いて当該金属材料の腐食減量と暴露日数との関係を決定するようにし

たため、長期間に渡る金属材料の暴露試験を必要とすることなく、大気環境の環境評価点を測定、評価に基づいて当該金属材料の当該大気環境中での腐食減量と暴露日数の関係が得られて、その金属材料の寿命を診断することができる。

【 0 1 1 5 】

請求項 1 4 記載の劣化診断方法によれば、金属材料が使用される大気環境について、請求項 9 記載の方法により前記環境評価点を算出し、この算出した環境評価点を用いて当該金属材料の腐食減量と暴露日数との関係を決定するようにしたため、特定金属材料の暴露試験のみを行って環境評価点を逆算することで、複数の環境因子の量の測定を必要とすることなく、他の任意の金属材料の腐食減量と暴露日数の関係が得られて、当該他の任意の金属材料の寿命を診断することができる。

【 0 1 1 6 】

請求項 1 5 記載の劣化診断方法によれば、金属材料が使用される大気環境について、当該大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複数の環境因子を所定期間に渡って測定し、この各測定値を用いて請求項 4 記載の方法により前記各因子別評価点を決定し、この決定した各因子別評価点を用いて請求項 3 記載の方法により前記環境評価点を決定し、この決定した環境評価点を用いて当該金属材料の腐食速度を決定するようにしたため、長期間に渡る金属材料の暴露試験を必要とすることなく、大気環境の環境評価点の測定、評価に基づいて当該金属材料の当該大気環境中での腐食速度が得られて、その金属材料の寿命を診断することができる。

【 0 1 1 7 】

請求項 1 6 記載の劣化診断方法によれば、金属材料が使用される大気環境について、請求項 9 記載の方法により前記環境評価点を算出し、この算出した環境評価点を用いて当該金属材料の腐食速度を決定するようにしたため、特定金属材料の暴露試験のみを行って環境評価点を逆算することとで、複数の環境因子の量の測定を必要とすることなく、他の任意の金属材料の腐食速度が得られて、当該他の任意の金属材料の寿命を診断することができる。

【 0 1 1 8 】

請求項 1 7 記載の劣化診断方法によれば、金属材料を大気環境中に所定期間に渡って暴露し、当該所定期間の暴露日数での当該金属材料の腐食減量を測定し、この測定結果を用いて請求項 1 3 又は 1 4 記載の方法によって算出した金属材料の腐食減量と暴露日数の関係を補正するようにしたため、短期間の当該金属材料の暴露試験を行うことで、その金属材料の腐食減量と暴露日数の関係より精度の高いものに補正することができて、その金属材料の寿命を精度良く診断することができる。

## 【 0 1 1 9 】

請求項 1 8 記載の劣化診断方法によれば、金属材料を大気環境中に所定期間に渡って暴露し、当該所定期間の暴露日数での当該金属の腐食減量を測定し、この測定結果を用いて請求項 1 5 又は 1 6 記載の方法によって算出した金属材料の腐食速度を補正するようにしたため、短期間の当該金属材料の暴露試験を行うことで、その金属材料の腐食速度をより精度の高いものに補正することができて、その金属材料の寿命を精度良く診断することができる。

## 【 0 1 2 0 】

請求項 1 9 記載の劣化診断装置によれば、環境因子測定手段で測定された各環境因子の量の測定値を入力する入力手段と、各環境因子の量と各因子別評価点の関係を与える関数を内蔵する第 1 のデータベースと、各種金属材料に対して環境評価点と各因子別評価点の関係を与える関数を内蔵する第 2 のデータベースと、前記第 1 のデータベースから読み取った前記関数及び前記入力手段から入力した各環境因子の量を用いて各因子別評価点を演算する因子別評価点演算手段と、前記第 2 のデータベースから読み取った前記関数及び前記因子別評価点演算手段で演算された各因子別評価点を用いて大気環境の有害性の程度を表す環境評価点を演算する環境評価点演算手段と、この環境評価点演算手段で演算された環境評価点を変数として定式化した関数により大気環境における金属材料の腐食減量と暴露日数との関係を演算する腐食減量演算手段と、前記環境評価点演算手段で演算された環境評価点を変数として定式化した関数により大気環境における金属材料の腐食速度を演算する腐食速度演算手段と、金属材料の所定期間の暴露日数での腐食減量に基づいて前記腐食減量演算手段で演算した腐食減量と暴露日数の関係

を補正演算する腐食減量補正演算手段と、金属材料の所定期間の暴露日数での腐食減量に基づいて前記腐食速度演算手段で演算した腐食速度を補正演算する腐食速度補正演算手段と、前記腐食減量補正演算手段で補正された腐食減量と暴露日数の関係又は前記腐食速度補正演算手段で補正された腐食速度を基に金属材料の余寿命を算出する余寿命算出手段と、この余寿命算出手段で算出された金属材料別の余寿命を診断結果として出力する出力手段とを具備させたため、長期間に渡る金属材料の暴露試験を必要とすることなく、各環境因子の量の測定値を入力するだけで、金属材料の寿命診断に必要な一連の演算等処理が行われて、精度の良い診断結果を出力することができる。

## 【 0 1 2 1 】

請求項 2 0 記載の劣化診断方法によれば、電子回路を構成する金属材料について、請求項 1 3 又は 1 4 記載の方法により演算される腐食減量、請求項 1 7 記載の方法より補正演算される腐食減量、請求項 1 5 又は 1 6 記載の方法により算出される腐食速度、又は請求項 1 8 記載の方法により補正演算される腐食速度を、前記電子回路を構成する金属材料に対して予め用意してある腐食減量又は腐食速度と当該金属材料からなる電子回路部品の腐食劣化指標との関係に当てはめて当該電子回路部品の腐食劣化指標に換算し、この腐食劣化指標により前記電子回路部品の腐食劣化状態を判定するようにしたため、電子回路部品を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、電子回路部品の劣化状態を判定することができる。

## 【 0 1 2 2 】

請求項 2 1 記載の劣化診断方法によれば、前記電子回路を構成する金属材料が銅、前記電子回路部品が銅パターン配線である場合において、前記腐食劣化指標は前記銅パターン配線の腐食厚さとしたため、銅パターン配線を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、その銅パターン配線の劣化状態を判定することができる。

## 【 0 1 2 3 】

請求項 2 2 記載の劣化診断方法によれば、前記電子回路を構成する金属材料がアルミニウム、前記電子回路部品が集積回路である場合において、前記腐食劣化

指標は前記集積回路のアルミニウム配線の腐食面積率としたため、集積回路を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、その集積回路のアルミニウム配線の劣化状態を判定することができる。

## 【 0 1 2 4 】

請求項 2 3 記載の劣化診断方法によれば、前記電子回路を構成する金属材料が銀、前記電子回路部品が銀接点である場合において、前記腐食劣化指標は前記銀接点の接触抵抗値としたため、銀接点を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、その銀接点の劣化状態を判定することができる。

## 【 0 1 2 5 】

請求項 2 4 記載の劣化診断方法によれば、電子回路を構成する金属材料からなる電子回路部品について、請求項 2 0 記載の方法により判定された腐食劣化状態に対して設定してある腐食劣化限界値を、請求項 2 0 記載の腐食減量又は腐食速度と当該金属材料からなる電子回路部品の腐食劣化指標との関係に当てはめて、前記電子回路部品を構成する金属材料の腐食減量限界値又は腐食速度限界値に換算するようにしたため、電子回路部品を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、大気環境の環境評価点を測定、評価して電子回路部品を構成する金属材料の腐食減量又は腐食速度を求めることで、その電子回路部品の腐食劣化限界の判定を行うことができる。

## 【 0 1 2 6 】

請求項 2 5 記載の劣化診断方法によれば、前記電子回路を構成する金属材料が銅、前記電子回路部品が銅パターン配線である場合において、前記腐食劣化限界値は前記銅パターン配線の限界腐食減厚率としたため、銅パターン配線を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、大気環境の環境評価点を測定、評価して銅パターン配線の腐食減量又は腐食速度を求めることで、その銅パターン配線の腐食劣化限界の判定を行うことができる。

## 【 0 1 2 7 】

請求項 2 6 記載の劣化診断方法によれば、前記電子回路を構成する金属材料が

アルミニウム、前記電子回路部品が集積回路である場合において、前記腐食劣化限界値は前記集積回路のアルミニウム配線の限界腐食面積率としたため、集積回路を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、大気環境の環境評価点を測定、評価してアルミニウム配線の腐食減量又は腐食速度を求めることで、その集積回路のアルミニウム配線の腐食劣化限界の判定を行うことができる。

## 【 0 1 2 8 】

請求項 2 7 記載の劣化診断方法によれば、前記電子回路を構成する金属材料が銀、前記電子回路部品が銀接点である場合において、前記腐食劣化限界値は前記銀接点の限界接触抵抗値としたため、銀接点を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、大気環境の環境評価点を測定、評価して銀接点の腐食減量又は腐食速度を求めることで、その銀接点の腐食劣化限界の判定を行うことができる。

## 【 0 1 2 9 】

請求項 2 8 記載の劣化診断方法によれば、大気環境の金属材料に対する有害性を環境評価点を用いて大気環境区分法を行うことによって評価する劣化診断方法において、前記環境評価点は請求項 9 記載の方法によって算出するようにしたため、長期に渡る多数の環境因子の測定を必要とすることなく、特定金属材料の暴露日数と腐食減量から逆算により求めた環境評価点を用いることで、大気環境の金属材料に対する有害性を簡便に評価することができる。

## 【 0 1 3 0 】

請求項 2 9 記載の劣化診断方法によれば、電子回路基板表面の汚損度と劣化指標との相関関数を予め求めておき、診断対象である電子機器における電子回路基板の汚損度を測定し、この測定汚損度を前記相関関数に当てはめて劣化指標に換算し、この劣化指標により前記電子機器の寿命を診断するようにしたため、電子回路基板を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、電子回路基板表面の汚損度を測定することで、電子機器の寿命を診断することができる。

## 【 0 1 3 1 】

請求項 3 0 記載の劣化診断方法によれば、電子回路基板表面の汚損度と劣化指標との相関関数を予め求めておき、診断対象である電子機器における電子回路基

板の現状汚損度及び一定期間経過後の汚損度をそれぞれ測定し、この各測定汚損度を前記相関関数にそれぞれ当てはめて劣化指標の経時変化を求め、この劣化指標の経時変化により前記電子機器の寿命を診断するようにしたため、電子回路基板を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、電子回路基板表面の汚損度を現状と一定期間経過後について測定することで、電子機器の寿命を診断することができる。

## 【 0 1 3 2 】

請求項 3 1 記載の劣化診断方法によれば、環境評価点と汚損度との相関関数を予め求めておき、前記汚損度は、大気環境中の温度、湿度、腐食性ガス、海塩粒子又は海岸からの距離を含む複数の環境因子の各々の量を、その量によって割り付けた各因子別評価点と各因子別重み係数の積の和から求めた環境評価点を前記相関関数に当てはめて決定するようにしたため、汚損度の直接測定に代えて、大気環境の環境評価点を測定、評価することで、電子回路基板が、汚損度の直接測定が困難な制御盤の奥等に設置されている場合でも、その環境評価点から換算した汚損度を基に非破壊で電子機器の寿命を診断することができる。

## 【 0 1 3 3 】

請求項 3 2 記載の劣化診断方法によれば、前記汚損度として、前記電子回路基板表面に付着した塩素イオン、硝酸イオン及び硫酸イオンを含む陰イオンの単位面積当たりの付着量を用いるようにしたため、電子回路基板を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、絶縁低下や腐食に影響の大きい陰イオンの電子回路基板表面への付着量を測定することで、電子機器の寿命を診断することができる。

## 【 0 1 3 4 】

請求項 3 3 記載の劣化診断方法によれば、前記劣化指標は、前記電子回路基板の熱分布画像のフラクタル次元変化率としたため、測定に特殊な装置を必要とする電子回路基板の熱分布の測定及びフラクタル次元計算を行うことなく、電子回路基板表面の汚損度を測定するだけで、フラクタル次元変化率を求めることができ、電子機器の寿命を診断することができる。

## 【 0 1 3 5 】

請求項 3 4 記載の劣化診断方法によれば、前記劣化指標は、前記電子回路基板における導体パターンの腐食断線時間としたため、電子回路基板を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、電子回路基板表面の汚損度を測定することで、導体パターンの腐食断線時間を求めることができ、電子機器の寿命を診断することができる。

#### 【0 1 3 6】

請求項 3 5 記載の劣化診断方法によれば、前記劣化指標は、前記電子回路基板における導体間の絶縁抵抗値としたため、電子回路基板を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、電子回路基板表面の汚損度を測定することで、実際の測定することが困難なコネクタリード間や部品リード間等の絶縁抵抗値を求めることができ、電子機器の寿命を診断することができる。

#### 【0 1 3 7】

請求項 3 6 記載の劣化診断装置によれば、電子回路基板表面の汚損度及び汚損速度を測定する汚損度測定手段と、電子回路基板の汚損度と劣化指標との相関関数を格納する劣化指標データベースと、前記汚損度測定手段から出力された汚損度測定値と前記劣化指標データベースから読み取った相関関数から前記汚損度測定値に対応した劣化指標値を算出する劣化指標値算出手段と、電子回路基板の劣化指標の寿命しきい値を格納する寿命データベースと、現状の劣化指標値と前記寿命データベースから読み取った寿命しきい値との差分に相当する差分汚損度を前記劣化指標データベースから読み取った相関関数から算出する差分汚損度算出手段と、この差分汚損度算出手段で算出された差分汚損度を前記汚損度測定手段から出力された汚損速度で除して余寿命を算出する余寿命算出手段とを具備させたため、電子回路基板を回収し、その破壊試験を行うことを必要とすることなく、電子回路基板表面の汚損度及び汚損速度を測定することで、寿命診断に必要な一連の演算等処理が行われて、精度の良い電子機器の寿命診断を行うことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態である劣化診断装置のブロックである。

【図 2】

上記第 1 の実施の形態において環境因子の量によりクラス分けした因子別評価点テーブルである。

【図 3】

上記第 1 の実施の形態における湿度についての 5 段階のクラス分けと J E I D A - 2 9 - 1 9 9 0 の 4 段階のクラス分けとの違いを説明するためのグラフである。

【図 4】

上記第 1 の実施の形態における腐食性ガスについての 5 段階のクラス分けと J E I D A - 2 9 - 1 9 9 0 の 4 段階のクラス分けとの違いを説明するためのグラフである。

【図 5】

上記第 1 の実施の形態において環境因子の量と因子別評価点の関係を示すグラフである。

【図 6】

上記第 1 の実施の形態において環境因子の量と環境因子の重み係数の関係を示すグラフである。

【図 7】

上記第 1 の実施の形態において金属材料の腐食減量と暴露時間との関係を示すグラフである。

【図 8】

上記第 1 の実施の形態において金属材料の暴露による腐食減量関数の補正方法を説明するためのグラフである。

【図 9】

本発明の第 2 の実施の形態における電子回路基板上の導体断面を示す図である。

【図 10】

上記第 2 の実施の形態において導体の腐食厚さと同時暴露された銅板の腐食量との関係を示す図である。

【図 1 1】

上記第 2 の実施の形態において腐食した導体の断面を示す図である。

【図 1 2】

本発明の第 3 の実施の形態においてアルミニウムの腐食減量と集積回路のアルミ配線の腐食面積率との関係を示す図である。

【図 1 3】

上記第 3 の実施の形態における腐食面積率データベースの詳細を説明するための表である。

【図 1 4】

上記第 3 の実施の形態における寿命診断データベースの詳細を説明するための表である。

【図 1 5】

上記第 3 の実施の形態において集積回路のアルミ配線腐食面積率の時系列曲線  $U = m(t)$  の詳細を説明するためのグラフである。

【図 1 6】

上記第 3 の実施の形態においてアルミ配線腐食面積率と故障の相関曲線  $F = n(U)$  の詳細を説明するためのグラフである。

【図 1 7】

本発明の第 4 の実施の形態において腐食被膜厚さと接触抵抗の関係を示すグラフである。

【図 1 8】

上記第 4 の実施の形態において硫化銀の被膜厚さと暴露時間との関係を示す図である。

【図 1 9】

本発明の第 5 の実施の形態である劣化診断装置のブロック図である。

【図 2 0】

本発明の第 6 の実施の形態である環境評価点に基づく劣化診断装置のブロック図である。

【図 2 1】

本発明の第 7 の実施の形態における汚損度とフラクタル次元変化率の関係を示すグラフである。

【図 2 2】

上記第 7 の実施の形態において汚損度の経時変化を示す図である。

【図 2 3】

本発明の第 8 の実施の形態において汚損速度と導体パターンの腐食断線時間の関係を示すグラフである。

【図 2 4】

本発明の第 9 の実施の形態において汚損度と電子回路基板表面の導体間の絶縁抵抗値の関係を示すグラフである。

【図 2 5】

上記第 9 の実施の形態において汚損度の経時変化を示す図である。

【符号の説明】

- 1 環境因子量測定手段
- 2 環境因子量入力装置（環境因子量入力手段）
- 3 因子別評価点演算部（因子別評価点演算手段）
- 4 因子別評価点データベース（第 1 のデータベース）
- 5 環境評価点演算部（環境評価点演算手段）
- 6 因子別重み係数データベース（第 2 のデータベース）
- 8 金属別腐食関数作成部
- 1 0 関数補正部（腐食減量補正演算手段、腐食速度補正演算手段）
- 1 4 金属別余寿命算出部（余寿命算出手段）

---

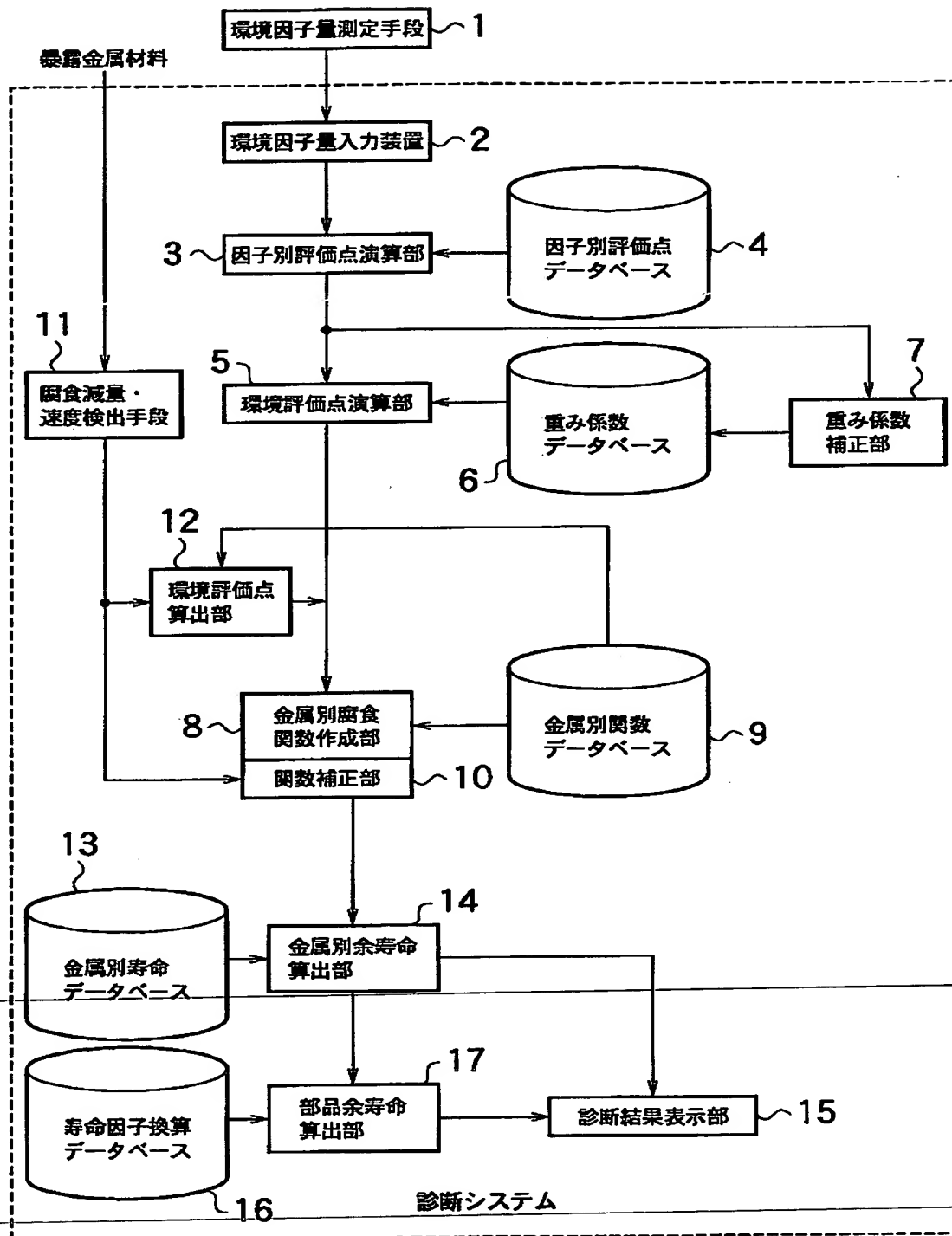
- 1 5 診断結果表示部（出力手段）
- 2 1 汚損度測定手段
- 2 3 劣化指標値算出部（劣化指標値算出手段）
- 2 4 劣化指標データベース

---

- ~~2 7 寿命データベース~~
- 2 8 差分汚損度算出部（差分汚損度算出手段）
- 2 9 余寿命算出部（余寿命算出手段）

【書類名】 図面

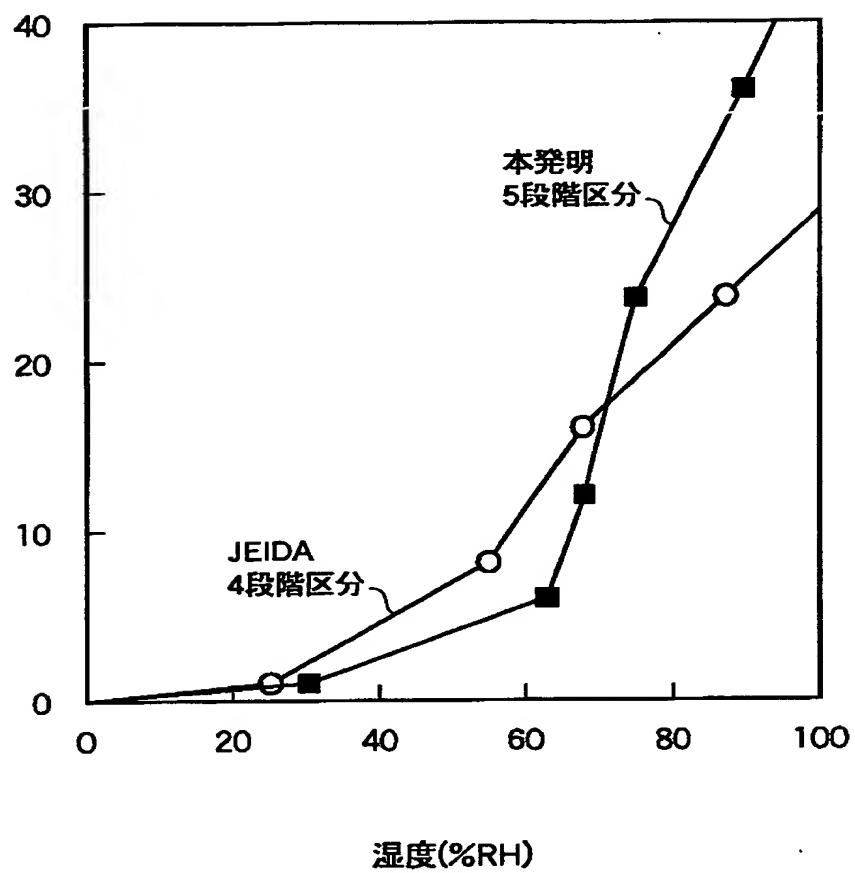
【図 1】



【図2】

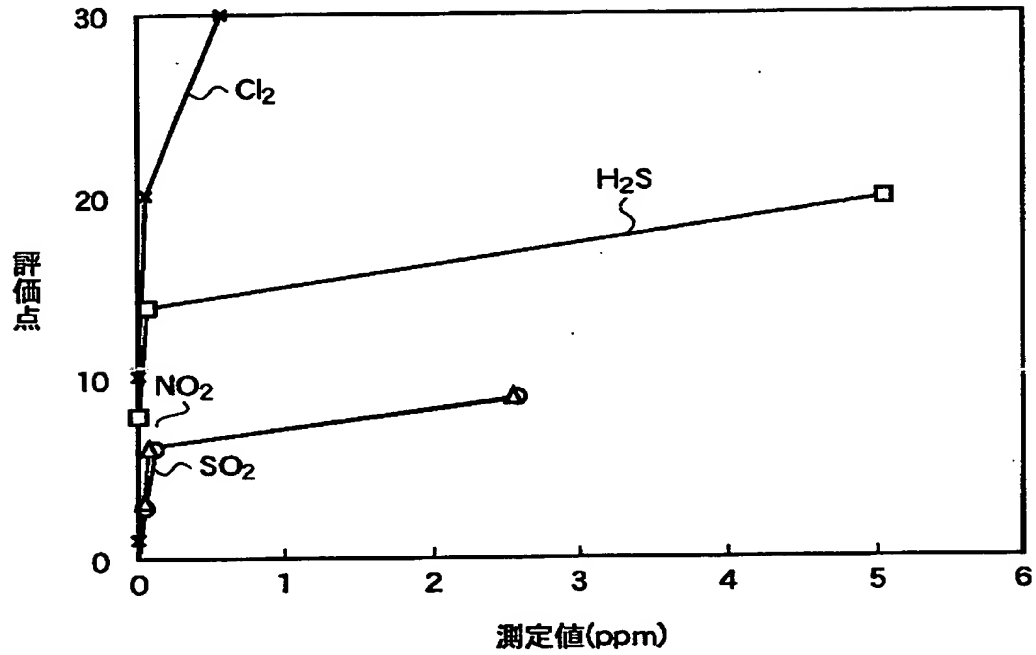
大気環境区分		I		II		III		IV		V	
環境因子		測定値	評価点	測定値	評価点	測定値	評価点	測定値	評価点	測定値	評価点
温度(°C)	A	≤20	1	≤25	2	≤30	4	≤35	8	>35	12
相対湿度(%RH)	B	≤60	1	≤65	6	≤70	12	≤80	24	>80	36
腐食性ガス (mdd)	SO <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	1	≤ 0.05	4	≤ 0.2	8	≤ 0.5	16	> 0.5	24
		H <sub>2</sub> S	1	≤ 0.05	6	≤ 0.2	12	≤ 0.5	24	> 0.5	36
		NO <sub>2</sub>	1	≤ 0.05	3	≤ 0.2	6	≤ 0.5	12	> 0.5	18
		Cl <sup>-</sup>	1	≤ 0.05	7	≤ 0.2	14	≤ 0.5	28	> 0.5	42
		NH <sub>3</sub>	1	≤ 0.1	3	≤ 1.0	6	≤ 10	12	> 10	18
海塩粒子	海塩粒子 (mdd)	≤ 0.01	1	≤ 0.03	5	≤ 0.1	10	≤ 0.3	20	> 0.3	30
	海岸からの 距離 (km)	> 2.0		≥ 1.5		≥ 1.0		≥ 0.5		< 0.5	

【図 3】

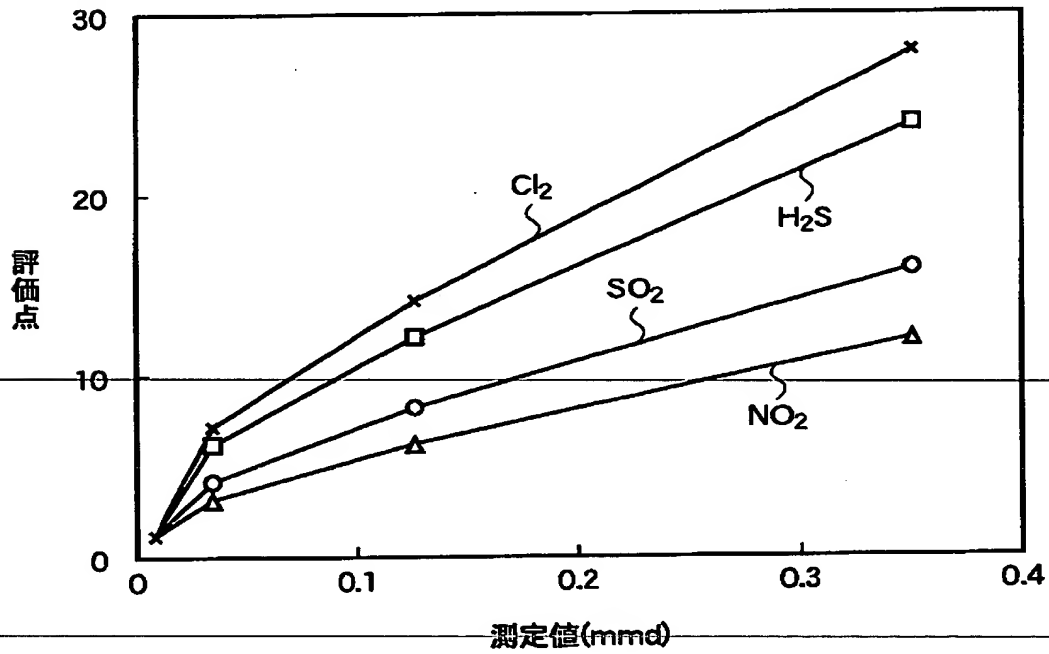


【図4】

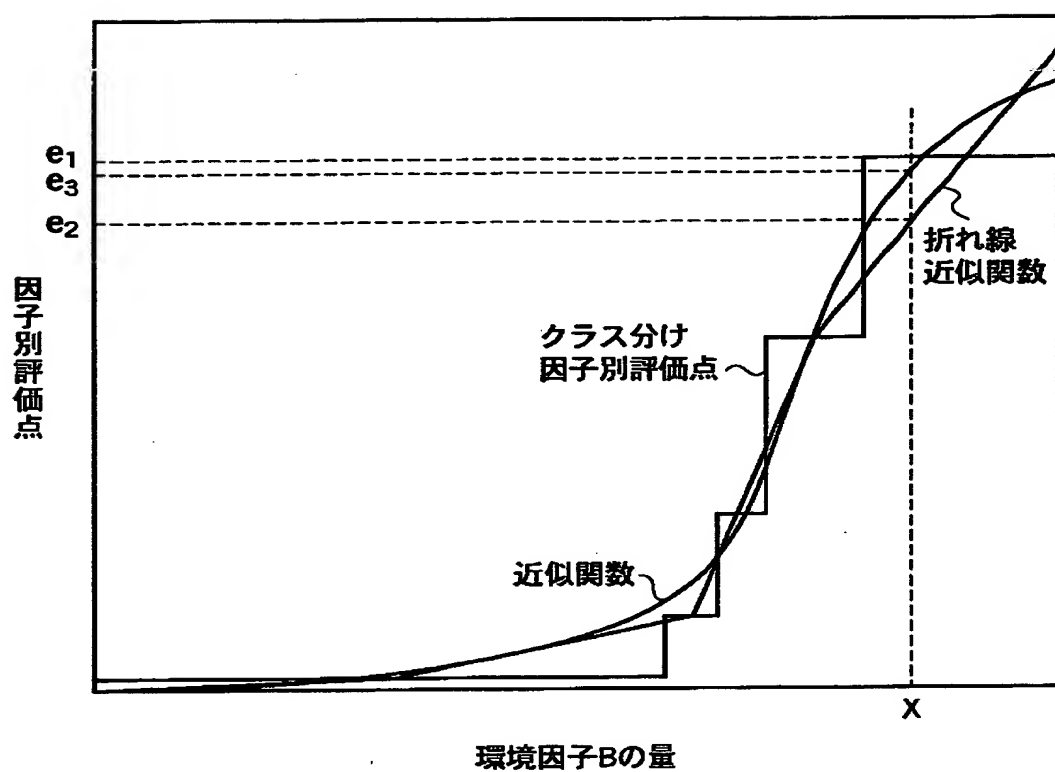
(a) JEIDA-29-1990 4段階クラス分け



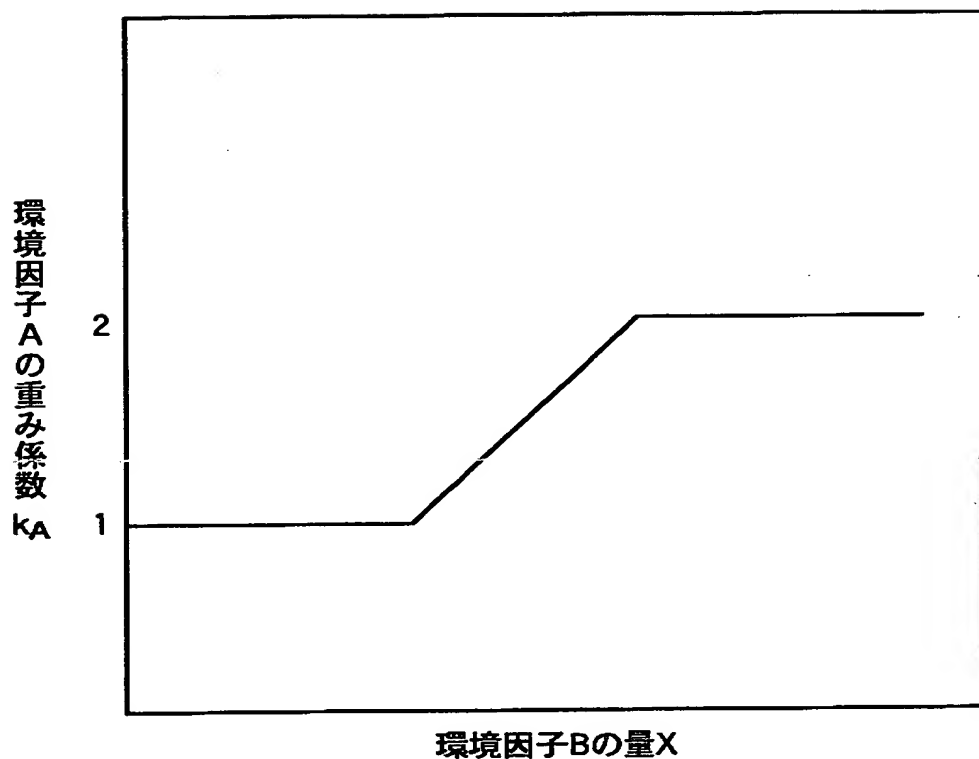
(b) 本発明 5段階クラス分け



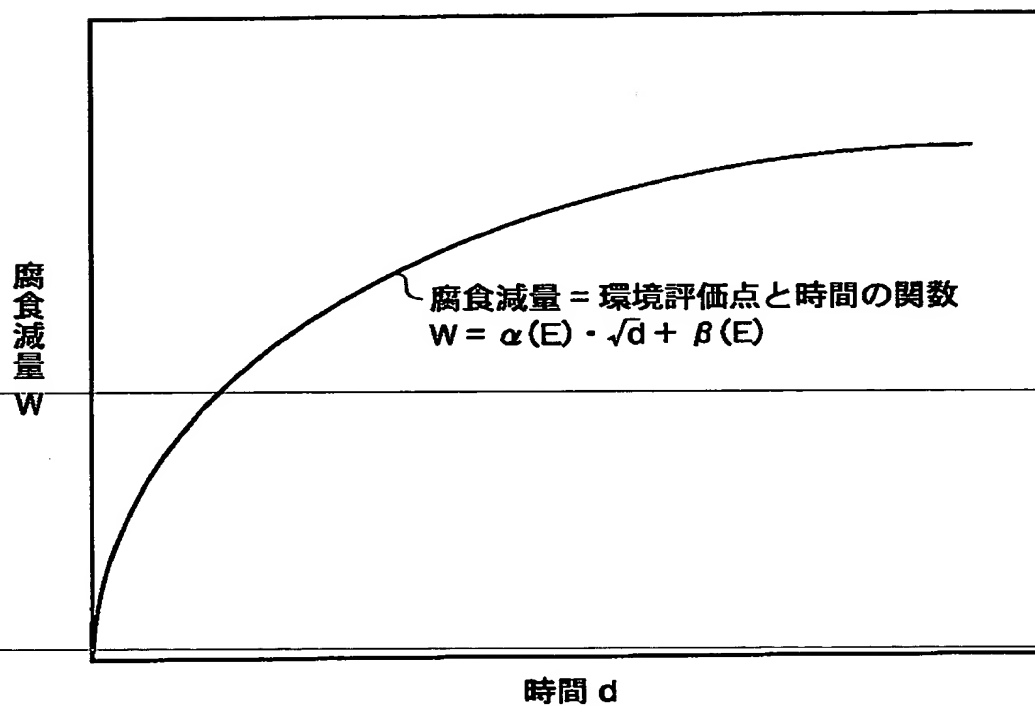
【図 5】



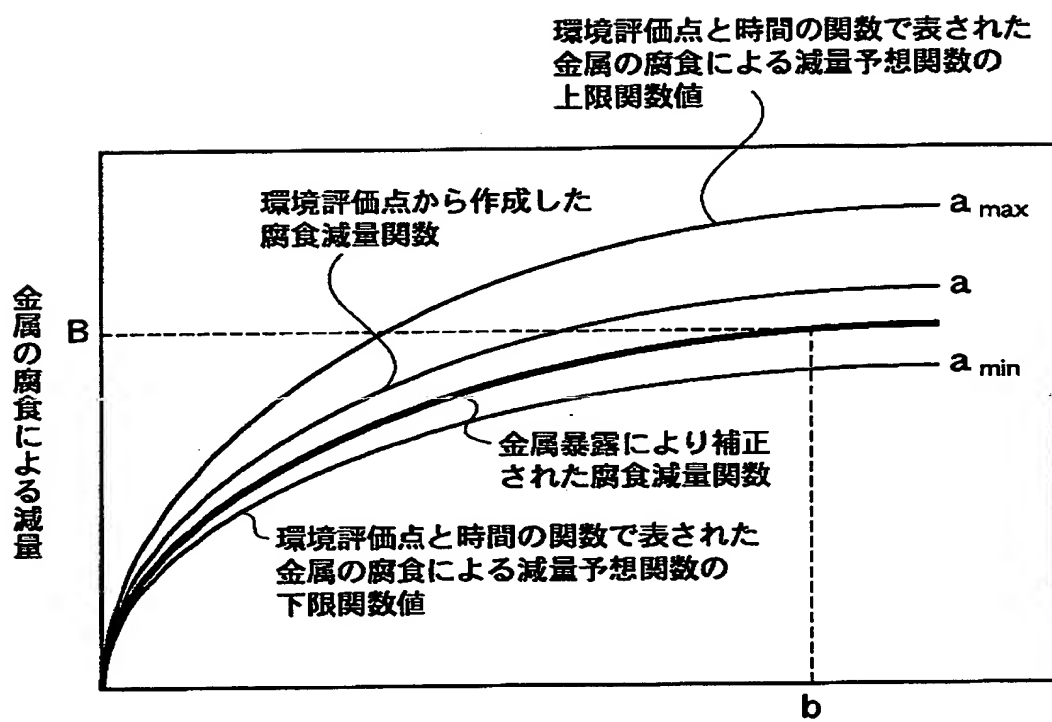
【図 6】



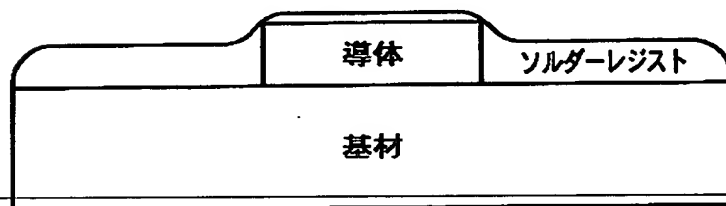
【図 7】



【図 8】

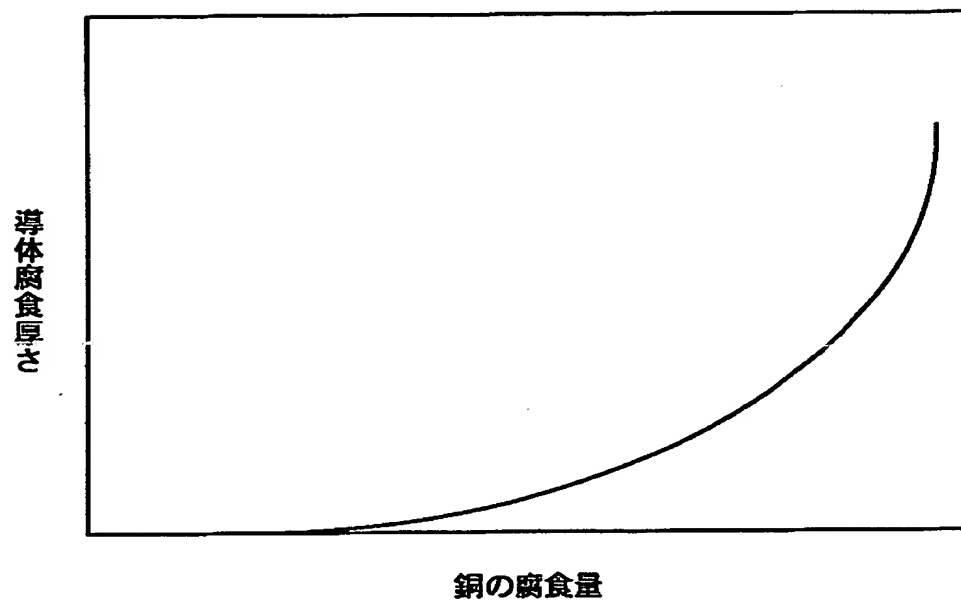


【図 9】

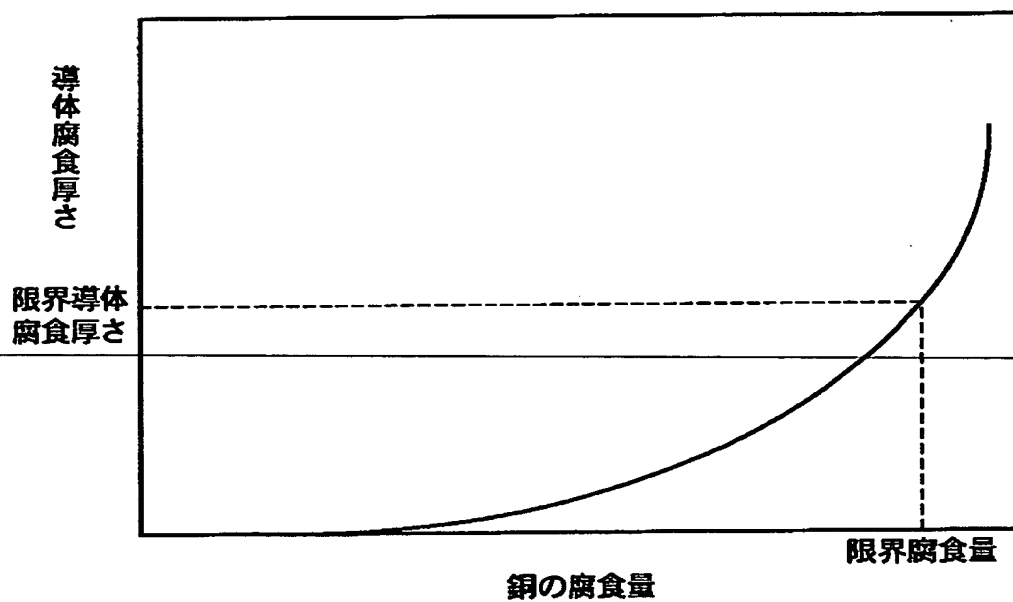


【図 1 0】

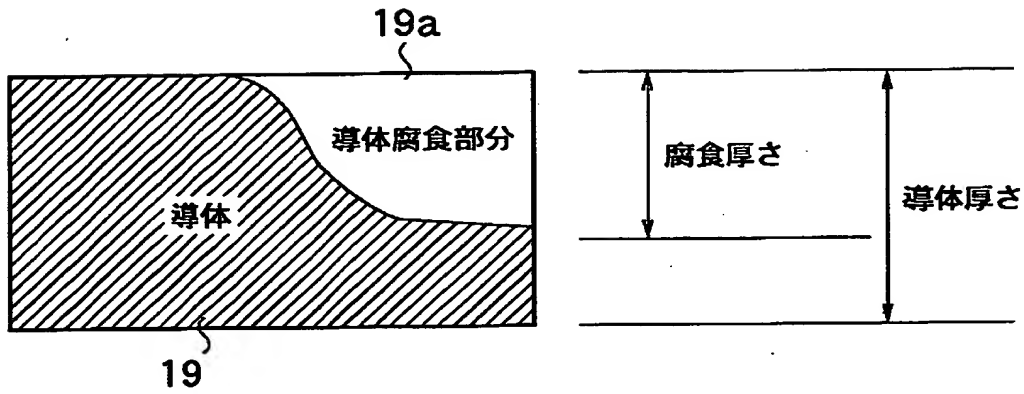
(a)



(b)

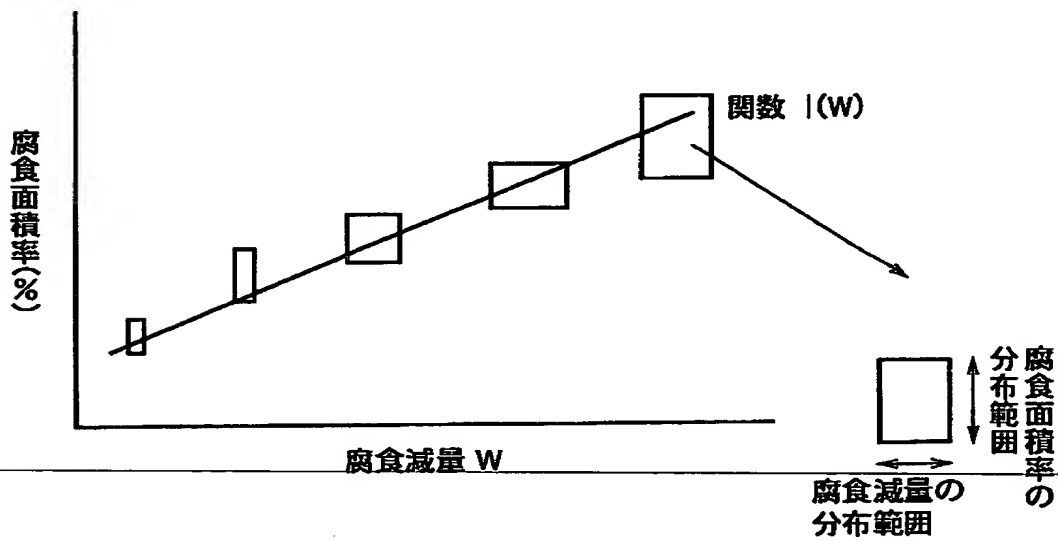


【図 1 1】



$$\text{腐食減厚率} = (\text{腐食厚さ} / \text{導体厚さ}) \times 100$$

【図 1 2】



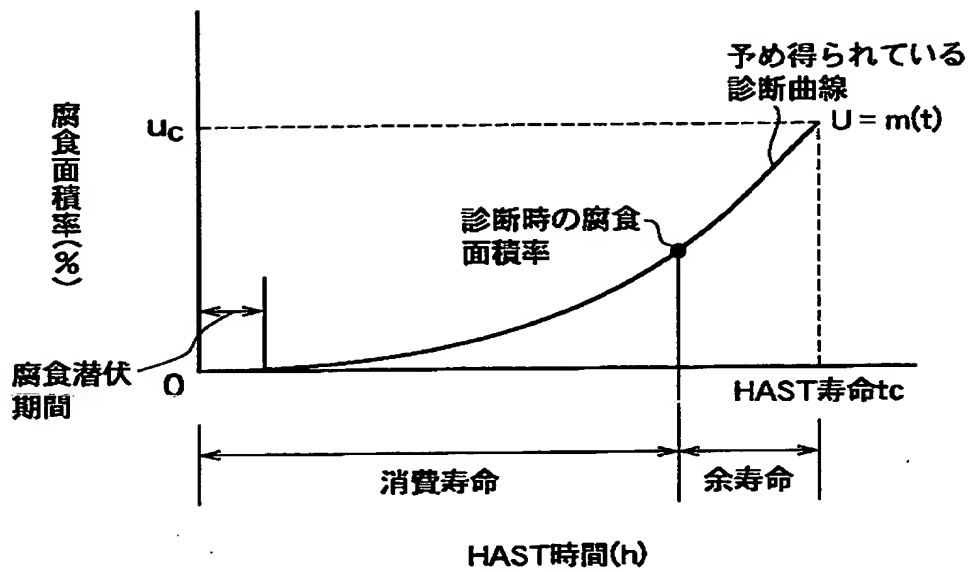
【図 1 3】

IC種	年代	メーカー	封止樹脂	チップ保護膜	その他……	相関関数   (W)
IC 1	1982	T 社	エポキシ 配合〇〇〇	PSG		$I_1(W)$
IC 2	1979	N 社	エポキシ 配合〇〇〇	無		$I_2(W)$
IC 3	1992	H 社	ポリイミド 配合〇〇〇	SIN		$I_3(W)$
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

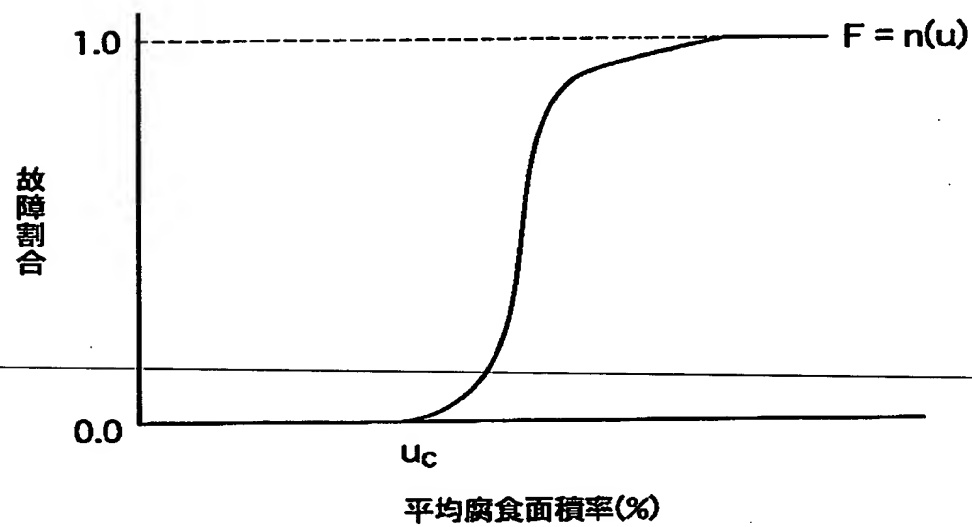
【図 1 4】

IC種	年代	メーカー	封止樹脂	チップ保護膜	その他…	アルミ配線腐食面積率の時系列変化 $U_i = h_i(t)$ アルミ配線腐食面積率と故障の相関関数 $F(u)$
IC 1	1982	T 社	エポキシ 配合〇〇〇	PSG		$U_1 = m_1(t), F_1 = n_1(u)$
IC 2	1979	N 社	エポキシ 配合〇〇〇	無		$U_2 = m_2(t), F_2 = n_2(u)$
IC 3	1992	H 社	ポリイミド 配合〇〇〇	SiN		$U_3 = m_3(t), F_3 = n_3(u)$
∴	∴	∴	∴	∴	∴	

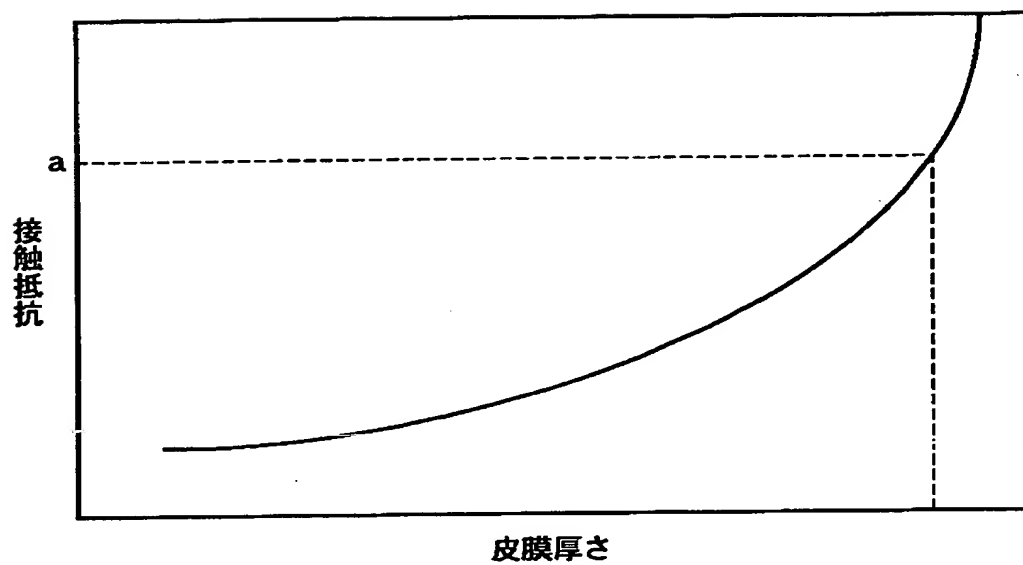
【図 1 5】



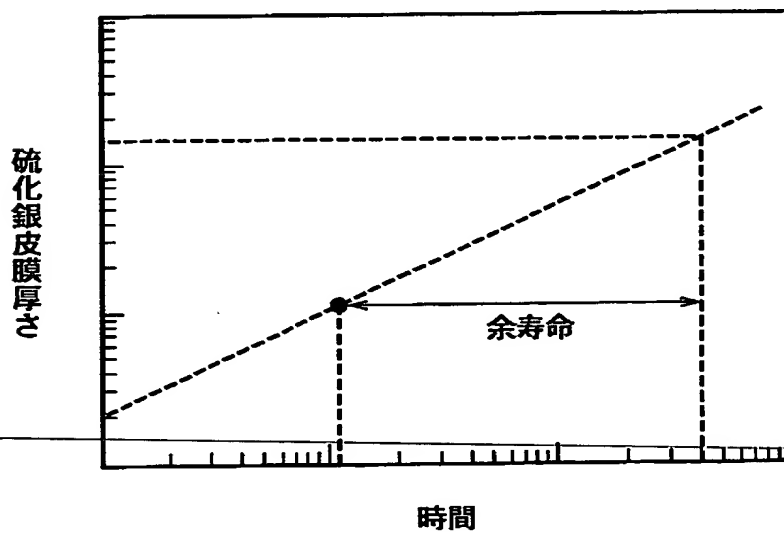
【図 1 6】



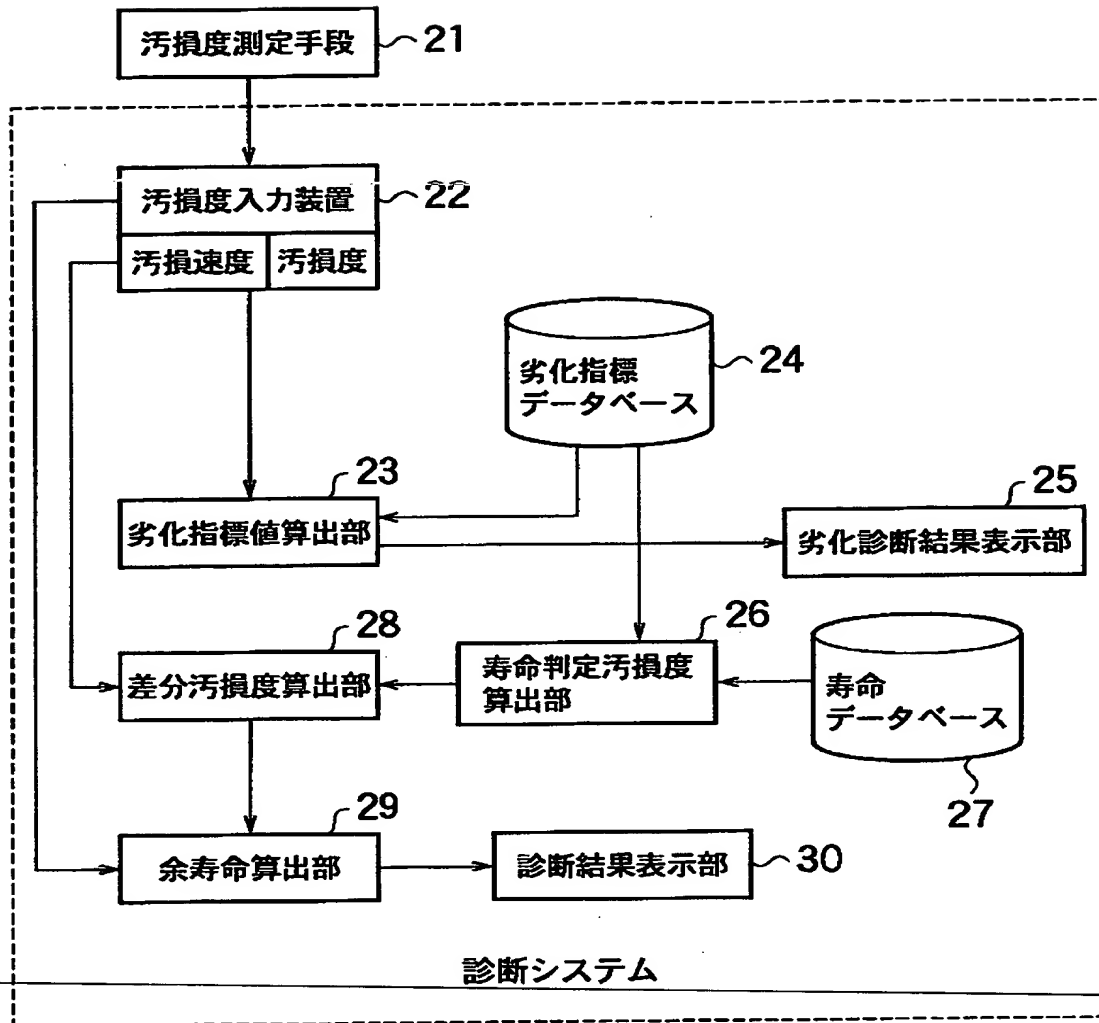
【図 17】



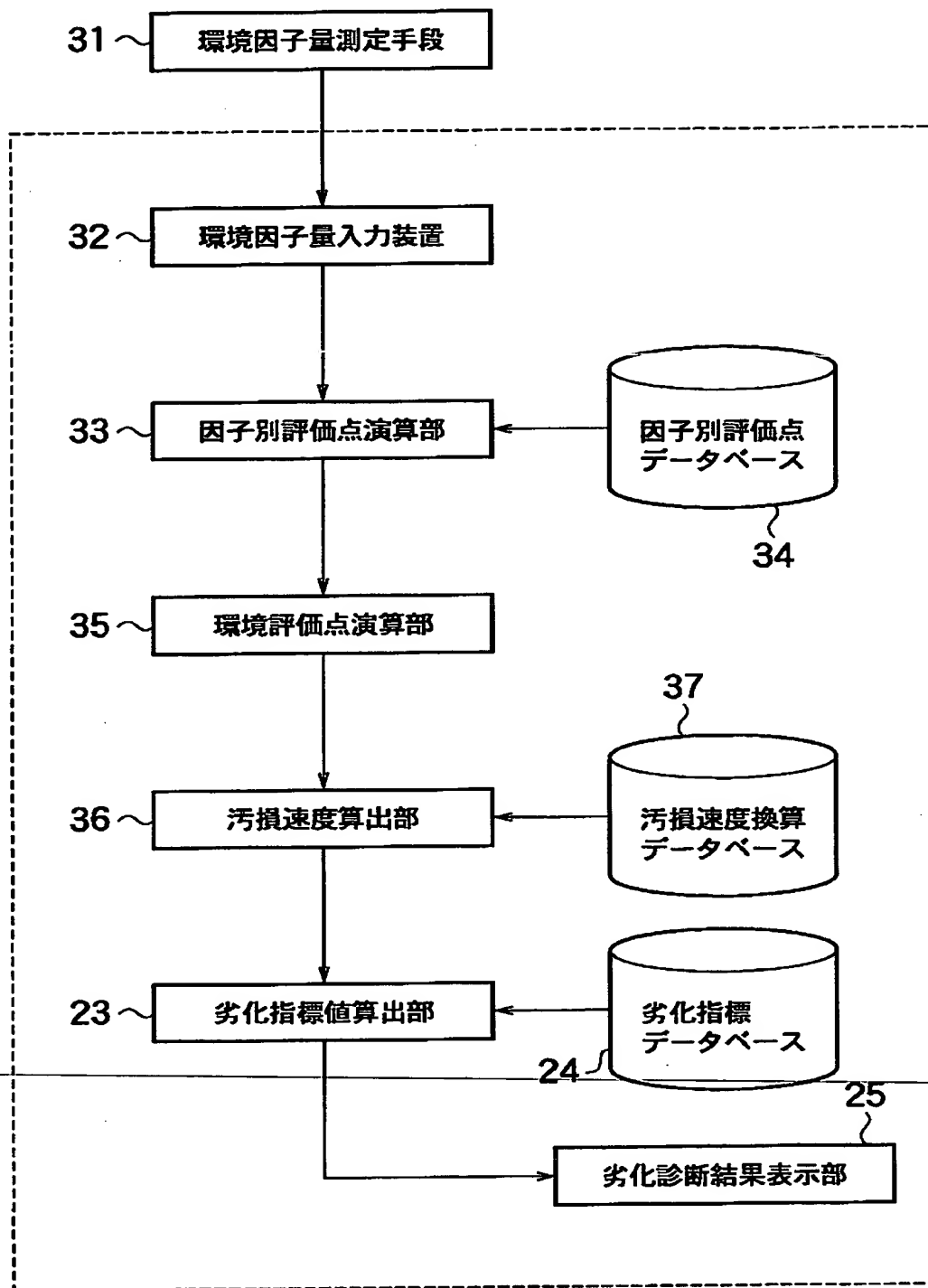
【図 18】



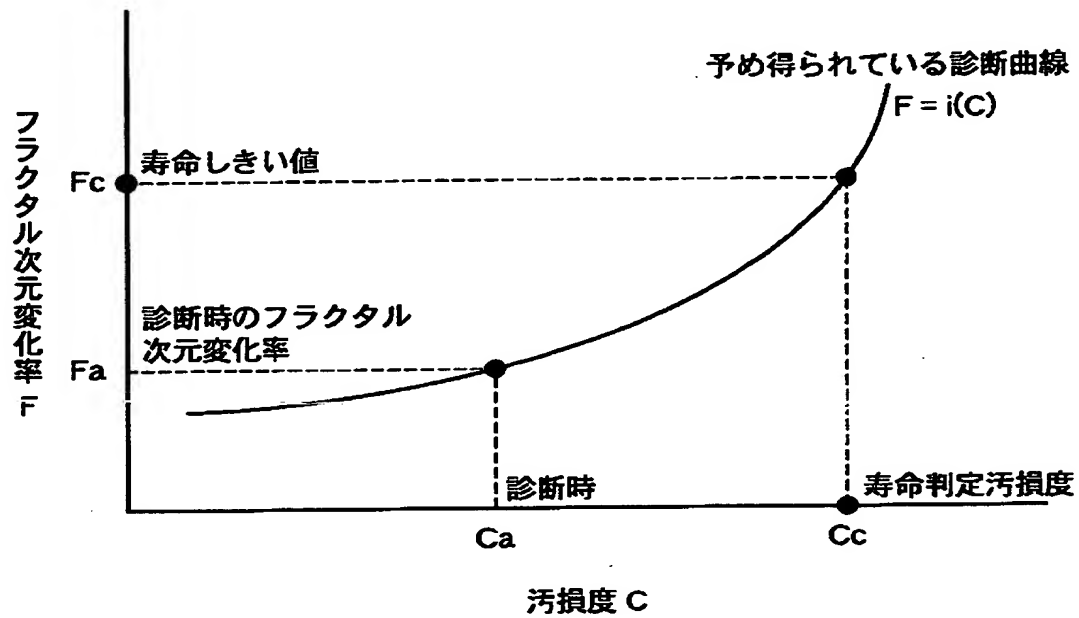
【図19】



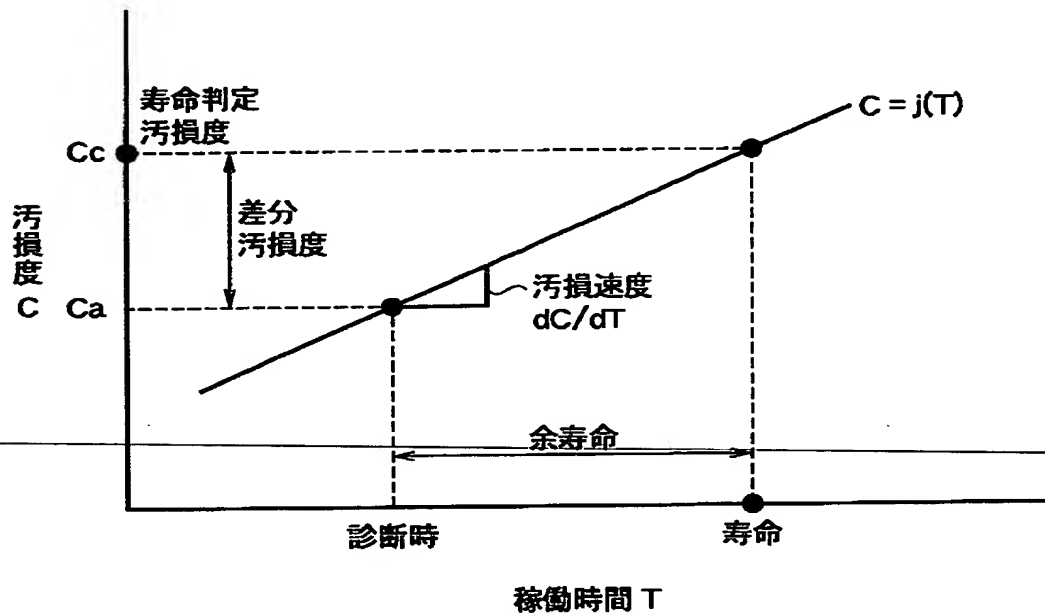
【図 2 0】



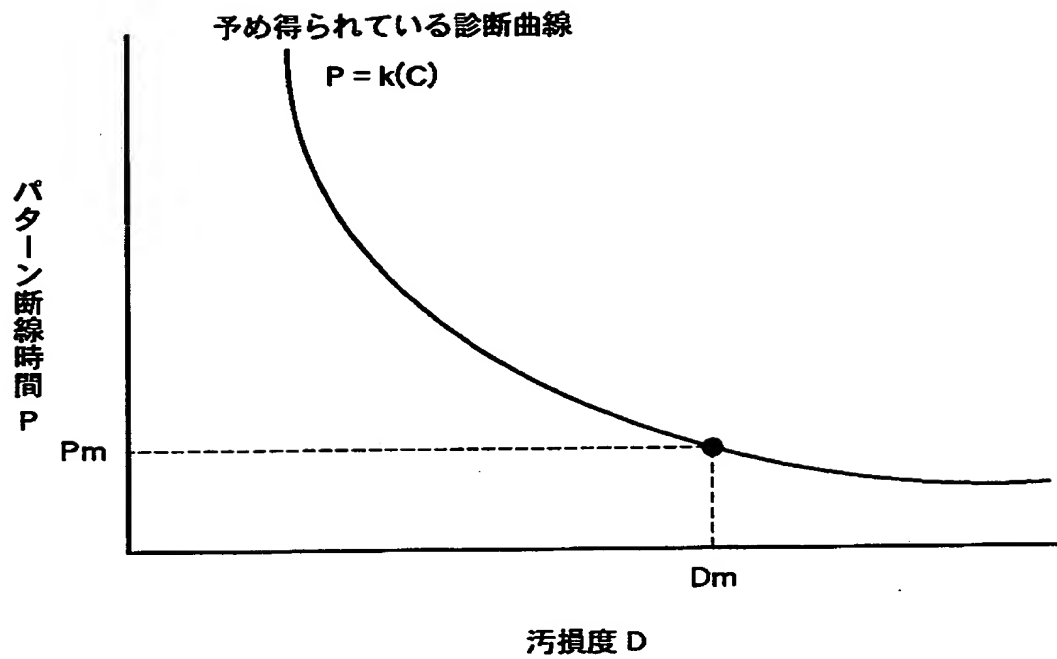
【図 2 1】



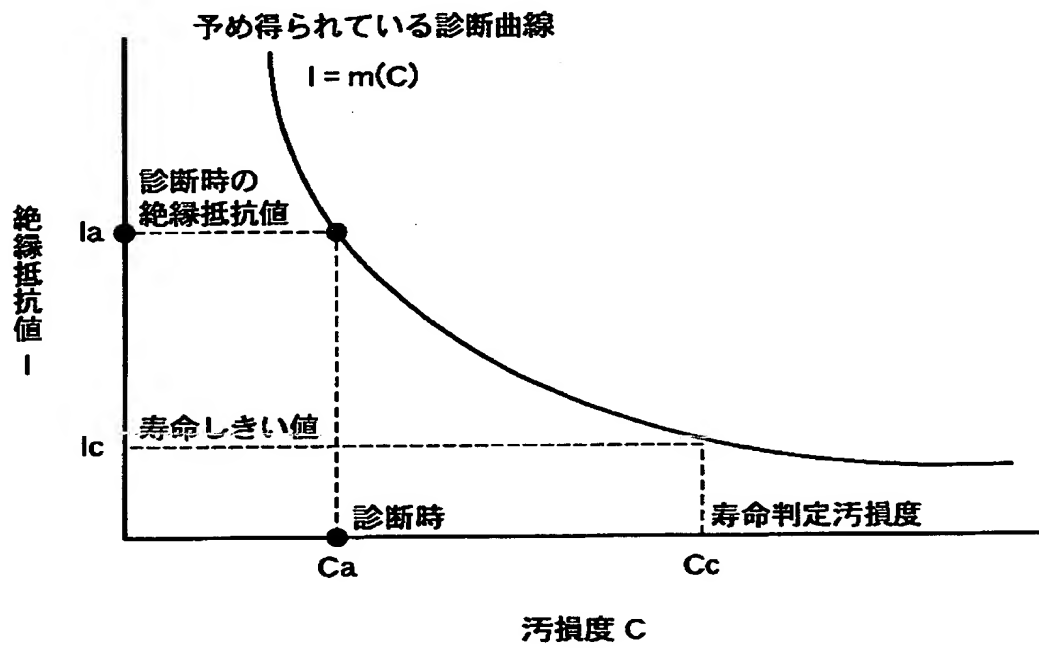
【図 2 2】



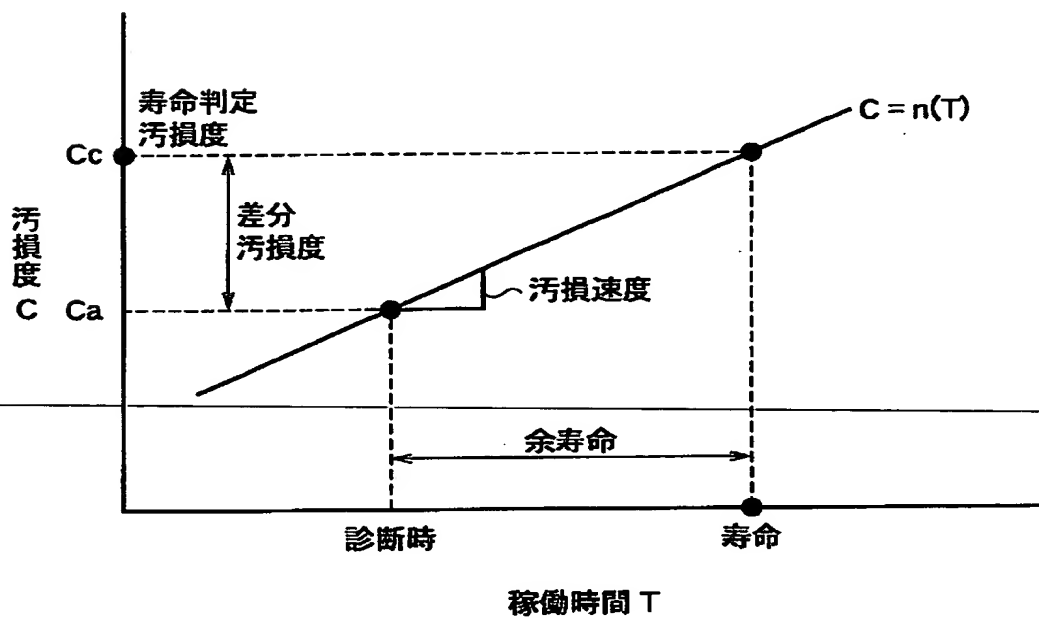
【図 23】



【図 24】



【図 25】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、長期に渡る金属材料の暴露試験を必要とすることなく金属材料の寿命を診断することを目的とする。

【解決手段】 金属材料の大気中での暴露日数に対する腐食減量を大気環境の有害性の程度を表す環境評価点の関数として定式化し、この関数から求めた腐食減量を基に金属材料の寿命を診断することを特徴とする。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003078]

1. 変更年月日	1990年 8月22日
[変更理由]	新規登録
住 所	神奈川県川崎市幸区堀川町72番地
氏 名	株式会社東芝